

Proyecto Fin de Máster

Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Diseño con Autodesk InfraWorks y Civil 3D de un tramo de carretera con viaducto en el embalse de La Minilla (T.M. de El Garrobo, Sevilla)

Autor: Fernando Rodríguez Fernández-Palacios

Tutores: Francisco Cabezas García

Manuel Morato Moreno

Dpto. Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Máster
Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Diseño con Autodesk InfraWorks y Civil 3D de un tramo de carretera con viaducto en el embalse de La Minilla (T.M. de El Garrobo, Sevilla)

Autor:

Fernando Rodríguez Fernández-Palacios

Tutores:

Francisco Cabezas García – Profesor titular

Manuel Morato Moreno – Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Máster: Diseño con Autodesk InfraWorks y Civil 3D de un tramo de carretera con viaducto en el embalse de La Minilla (T.M. de El Garrobo, Sevilla)

Autor: Fernando Rodríguez Fernández-Palacios

Tutores: Francisco Cabezas García, Manuel Morato Moreno

El tribunal nombrado para juzgar el proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mis padres

A mis abuelas, que tanto han rezado por mí

A la Luz de mis desvelos

Agradecimientos

El Trabajo de Fin de Máster que se desarrolla a continuación supone no sólo el resultado de largas horas de esfuerzo, dedicación y privaciones de todo tipo, sino que representa el fin de una etapa en mi vida: la culminación de mis estudios universitarios. Quién sabe si en el futuro volveré a ocupar un lugar tras los pupitres. Lo que sí está claro es que tras la finalización de este documento se abren ante mí infinitas puertas, que podré cruzar en calidad de ingeniero de caminos, canales y puertos.

Mi paso por la universidad ha sido una carrera de fondo, siendo necesario tirar de fe y de constancia para poder avanzar. Sin solución de continuidad, pasé del grado al máster, donde se amplificó la dificultad y hubo que redoblar esfuerzos. Es en este punto donde quiero agradecer a todos los compañeros que han estado a mi lado y me han ayudado de diversas formas: mis amigos José Ignacio, Miguel Ángel, Ana, Pepe, Javi... Muy especialmente, les agradezco a mis amigos Celia y Adelardo su cercanía, apoyo y asistencia en todo momento, teniendo muy claro que sin ellos este camino habría sido mucho más escabroso. Y aún menos llevadero habría sido sin los ánimos, la preocupación y los atentos cuidados de mis padres, que siempre han estado tras de mí y me han hecho sentir fuerte aún en los momentos más difíciles. En esta línea, también necesito nombrar a Juani, mi madrina, Julio, María y Loli, todos tíos míos, su interés y las palabras de aliento en todo momento. A mi abuela Matilde, su cariño, su alegría y sus fervientes oraciones, y a mi abuela Lola, cada llamada a cualquier hora del día para preguntarme, su oración cada noche por mí y por mi futuro, y, en definitiva, su amor incondicional. El de todos ellos. Gracias, y mil veces gracias.

A todos los docentes que a lo largo de estos años han puesto su interés en mi aprendizaje, actitud poco común en estos días, también debo agradecerles su empeño y su paciencia: Teresa, Alfonso, Carlos, Abel, Isabel, Luis Miguel... De forma especial en este trabajo, he de mencionar a Manuel Morato y Francisco Cabezas, mis tutores del TFM, con quienes todo han sido facilidades y cuyo trato ha sido exquisito. Gracias.

Por último, debo dar también gracias a Dios por llegar hasta este punto y por poder escribir, especialmente, los dos párrafos anteriores; por la alegría de terminar tareas y acabarlas bien; por la escucha atenta en la calidez del sagrario o en la intimidad de la capilla de Torrijos; por el consuelo de tantos momentos amargos ante la dulcísima mirada de Ntra. Sra. de la Estrella. Gracias.

Va por ustedes.

Cada día cuenta con mayor presencia e importancia la metodología BIM en todos los ámbitos de la ingeniería. Es por ello que se desea explorar con este trabajo una aplicación concreta de la metodología: el diseño de una carretera con viaductos mediante los programas Autocad Civil 3D e InfraWorks, ambos de Autodesk. Se recorrerá cada etapa del diseño, mostrando sucintamente los detalles de interés en los dos programas, así como la utilidad de las diferentes herramientas, desde el planteamiento de las diferentes alternativas hasta la salida gráfica del modelo diseñado. Se indicarán convenientemente los puntos en los que se trasvasará la información entre Civil 3D e InfraWorks, dado el carácter BIM del estudio, reflexionando sobre la operatividad y la versatilidad de los mismos.

El estudio abordará el uso de Autodesk InfraWorks 360 para la creación de un modelo preliminar que sirva de base para desarrollar las diferentes alternativas con las que enfrentarse a la resolución del problema que se plantea, así como para argumentar un posterior análisis multicriterio del que se obtendrá la más adecuada.

Posteriormente se tratará todo el diseño de la infraestructura lineal desde el ámbito técnico con Autocad Civil 3D, ajustando los criterios pertinentes a las especificaciones de la normativa española. En este sentido, se hará hincapié en las características del programa en cuanto a elementos de diseño y también en el hecho de que los diferentes procesos se encuentren parametrizados y acoplados entre sí, facilitando este tipo de labores y evitando duplicidades. También con este programa se obtendrán los planos de la obra lineal, la salida gráfica tradicional del modelo.

Por último, se elaborará una animación del modelo diseñado en Autodesk InfraWorks 360, de modo que, en forma de video, pueda recorrerse la obra lineal y resulte una presentación llamativa. Así podrán ponerse en valor cualidades relativas al paisaje y al resultado final que se obtendría tras una hipotética ejecución del proyecto, manifestándose la incidencia del segundo en el primero.

En todo caso, aunque teóricamente se trabaja en un entorno BIM puro, se evidencian diversas limitaciones que restringen el potencial del uso combinado de ambas herramientas, impidiendo que pueda llevarse a cabo iteraciones en el proceso de diseño que alternen indistintamente ambos programas.

Abstract

The BIM methodology presence in the engineering world increases every day. That is the reason why we want to explore a specific application of the methodology with this work: the design of a road with viaducts through AutoCAD Civil 3D and Infraworks, both softwares from Autodesk. Each design stage will be covered, showing succinctly the interesting details in the two programs, as well as the different tools usefulness, from the alternatives approach to the designed model output. The points at which the information between Civil 3D and Infraworks will be transferred will be conveniently indicated due to the BIM nature of the study, reflecting on the operability and versatility thereof.

The study will address the use of Autodesk InfraWorks 360 for the creation of a preliminary model which serves as a basis for developing the different alternatives with which to face the problem's resolution that arises, as well as to argue a subsequent multiple-criteria analysis from which it will be obtained the most appropriate.

Then, the entire design of the linear infrastructure will be treated from the technical field with Autocad Civil 3D, adjusting the relevant criteria to the Spanish-regulation specifications. In that sense, emphasis will be placed on the program particularities in terms of element design and also the fact that the different processes are parameterized and coupled to each other, doing easier this type of work and avoiding duplication. Also with this program you will get the drawings of the linear work, the traditional graphic output of the model.

Finally, an animation of the model designed in Autodesk InfraWorks 360 will be developed, so the linear work can be traversed in a film as a striking presentation. Consequently, qualities related to the landscape and the final result that would be obtained after a hypothetical execution of the project can be valued, showing the incidence of the second in the first.

Although theoretically we are working in a pure BIM environment, there are several limitations that restrict the combined use of both tools potential, preventing iterations in the design process that alternate both programs.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xviii
Índice de Figuras	xx
1 Introducción	23
2 Objetivo	24
3 Elección del ámbito	25
4 Construcción de alternativas	27
4.1 <i>Obtención de la cartografía</i>	27
4.2 <i>Implementación de la cartografía</i>	28
4.3 <i>Diseño de alternativas</i>	29
4.4 <i>Descripción de las alternativas a considerar</i>	30
4.4.1 Alternativa 0	30
4.4.2 Alternativa 1	31
4.4.3 Alternativa 2	31
4.4.4 Alternativa 3	31
5 Selección de alternativas	33
5.1 <i>Desarrollo de los criterios</i>	33
5.1.1 Longitud de los viaductos	33
5.1.2 Aprovechamiento de las carreteras	33
5.1.3 Disminución de la sinuosidad	34
5.1.4 Longitud del tramo	34
5.1.5 Impacto visual	34
5.1.6 Vistas	34
5.2 <i>Puntuación de las alternativas</i>	34
6 Diseño de la carretera: CIVIL 3D	36
6.1 <i>Datos de partida</i>	36
6.2 <i>Alineación en planta</i>	37
6.3 <i>Perfil longitudinal</i>	40
6.4 <i>Sección transversal</i>	45
6.4.1 Sobreancho	46
6.4.2 Peralte	48
6.4.3 Ensamblaje	48
7 Diseño del viaducto: INFRAWORKS	52
7.1 <i>Datos de partida</i>	52
7.2 <i>Definición del viaducto</i>	53
7.3 <i>Viaductos en Civil 3D</i>	54

8	Salida gráfica del modelo	59
8.1	<i>Planos en Civil 3D</i>	59
8.1.1	Plantilla y cajetín	60
8.1.2	Plano de planta y perfil	62
8.1.3	Plano de perfiles transversales	63
8.1.4	Resto de planos	64
8.2	<i>Recorrido virtual en InfraWorks</i>	65
9	Conclusiones	68
10	Bibliografía	70
11	Planos	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1.1. Cartografía utilizada.	27
Tabla 5.2.1. Ponderación de los criterios para la evaluación de alternativas.	34
Tabla 5.2.2. Resumen de las puntuaciones obtenidas por cada alternativa.	35
Tabla 6.3.1. Valores utilizados en la comprobación de acuerdos verticales.	42
Tabla 8.1.1. Planos cuya elaboración se aborda en el estudio.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1.1. Situación del ámbito en la Península Ibérica. Fuente: Google Maps.	26
Figura 4.1.2. Situación regional del ámbito. Fuente: Google Maps.	26
Figura 4.2.1. Vista general de la cartografía cargada en Autodesk InfraWorks.	28
Figura 4.3.1. Instantánea del proceso de diseño de las alternativas.	29
Figura 4.4.1. Vista general de las alternativas.	30
Figura 4.4.2. Alternativa 1.	31
Figura 4.4.3. Alternativa 2.	32
Figura 4.4.4. Alternativa 3.	32
Figura 6.1.1. Interfaz de importación de archivos desde InfraWorks a Civil 3D.	37
Figura 6.2.1. Normas de diseño en Civil 3D.	38
Figura 6.2.2. Edición de criterios de comprobación del paquete “Basic” de Civil 3D.	39
Figura 6.2.3. Advertencia sobre la alineación creada en la pantalla de dibujo.	39
Figura 6.2.4. Tablas sobre de longitud y radio en función de la velocidad contenidas en la Norma 3.1 IC Trazado (Ministerio de Fomento, 2016).	40
Figura 6.3.1. Perfil longitudinal del terreno.	41
Figura 6.3.2. Tabla de herramientas para definir la rasante.	41
Figura 6.3.3. Comprobación de acuerdos verticales mínimos en Civil 3D.	42
Figura 6.3.4. Valor de k aplicado a cada acuerdo vertical de la rasante y mínimos de la ASSHTO 2011.	42
Figura 6.3.5. Conceptos incluidos en la guitarra de datos del perfil longitudinal.	43
Figura 6.3.6. Perfil longitudinal, con guitarra, tras el primer ajuste de la rasante.	43
Figura 6.3.7. Comprobación de máxima pendiente para la rasante.	44
Figura 6.3.8. Tabla sobre máxima inclinación de la rasante contenida en la Norma 3.1 IC Trazado (Ministerio de Fomento, 2016).	44
Figura 6.3.9. Pendiente redondeada en los diferentes tramos de la rasante.	45
Figura 6.4.1. Extracto de la tabla 7.1 de la Instrucción de Carreteras sobre las dimensiones de la sección transversal (Ministerio de Fomento, 2016).	45
Figura 6.4.2. Formulación para el cálculo del sobreebanco para curvas circulares de radio menor de 250 metros y vehículos rígidos.	46
Figura 6.4.3. Definición del sobreebanco en curvas.	47
Figura 6.4.3. Sobreebanco.	47
Figura 6.4.5. Cálculo del peralte.	48
Figura 6.4.6. Creación de ensamblajes.	49
Figura 6.4.7. Paleta y composición del ensamblaje.	49
Figura 6.4.8. Obra lineal a partir de alineación, ensamblaje y superficie.	50
Figura 6.4.9. Terraplenado y desmonte en el primer encaje de la obra lineal.	50

Figura 7.2.1. Carretera y superficie en InfraWorks importadas desde Civil 3D.	53
Figura 7.2.2. Conversión a carretera compuesta.	53
Figura 7.2.3. Creación de los tramos de viaducto.	54
Figura 7.2.4. Uno de los dos puentes del proyecto.	54
Figura 7.3.1. Viga de uno de los viaductos no convertida en sólido tridimensional y con multitud de caras.	55
Figura 7.3.2. Ensamblaje de la obra lineal del proyecto importada desde InfraWorks.	56
Figura 7.3.3. Ensamblaje tipo para los tramos de viaducto.	57
Figura 7.3.4. Definición de los diferentes tramos (según su sección) de la obra lineal.	58
Figura 7.3.5. Menú donde se establece el gap para el cálculo de volúmenes.	58
Figura 8.1.1. Modelo de cajetín de los planos.	61
Figura 8.1.2. Edición de las características de la ventana gráfica.	61
Figura 8.1.3. Creación de grupo de minutas y plantilla asociada.	62
Figura 8.1.4. Creación de las líneas de muestreo.	63
Figura 8.1.5. Creación de planos de perfiles transversales.	64
Figura 8.1.6. Geoubicación en Civil 3D.	64
Figura 8.2.1. Creación de video con InfraWorks.	65
Figura 8.2.2. Herramientas de creación de recorrido virtual y otras perspectivas en InfraWorks.	66
Figura 8.2.3. Creación de elementos de diseño conceptual.	67
Figura 8.2.4. Representación de obras al final del tramo de carretera modelado.	67

1 INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil es una disciplina muy amplia que engloba, entre otros conceptos, todo lo relativo al diseño, la ejecución y el mantenimiento de infraestructuras ubicadas en el medio físico con el fin de mejorar el desarrollo y las condiciones de vida de la sociedad.

Para llevar a cabo sus objetivos, la ingeniería civil requiere de la asimilación y puesta en práctica de los conocimientos de índole científica y tecnológica necesarios para la resolución de cada problema concreto que se plantee.

En España, este papel lo desempeñan los ingenieros de caminos, canales y puertos, habilitados para ejercer las competencias en los campos ya mencionados y, en general, en todos los contenidos en la *Orden CIN/309/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*.

En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Máster del Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Sevilla se centrará en el ámbito de las vías de comunicación y transportes, concretamente en el nivel de diseño de cara al proyecto.

En todo caso, no se persigue la redacción de un proyecto ni de diseñar exhaustivamente una estructura con cálculos analíticos. Este documento pretende la puesta en valor de las herramientas actuales de análisis cartográfico, dimensional y paramétrico que facilitan la toma de decisiones en el ámbito de la ingeniería civil y permiten la iteración en el proceso de análisis con una interfaz intuitiva y sin necesidad de profundos conocimientos informáticos relativos al funcionamiento interno del programa que se trate.

Así, se procederá al diseño y dimensionamiento de la infraestructura a nivel de anteproyecto haciendo uso, principalmente, de AutoCAD Civil 3D e InfraWorks.

2 OBJETIVO

Este trabajo se enuncia con el objeto de que se adquieran habilidades aplicadas a los proyectos de ingeniería civil con el software AutoCad Civil 3D. No se trata de la redacción de un proyecto ingenieril de obra civil al nivel de los que se realizan en el ámbito profesional (memorias, cálculos, planos, mediciones, estudio de seguridad, gestión de vertidos, etc.), sino que se centrará en el diseño geométrico de la infraestructura a proyectar.

El trabajo comprenderá tres fases:

1. En primer lugar, se realizará un estudio analítico previo sobre cartografía digital, al objeto de elegir el emplazamiento de la obra a proyectar. Sobre dicho análisis se tomarán decisiones básicas relativas al proyecto, como el trazado de alineaciones, rasantes, y el/los tramo/s donde será necesario la sustitución de taludes de tierra por viaducto/s. Será más enriquecedor para el trabajo que la zona elegida presente una topografía escarpada y cierto valor paisajístico.
2. Se realizará el diseño de la obra lineal siguiendo las directrices de proyecto establecidas por los tutores y sobre un emplazamiento real. En esta fase del trabajo tendrá especial relevancia el diseño de los perfiles transversales de la obra mediante Autodesk Subassembly Composer, la interfaz de Civil 3D para componer y modificar sub-ensamblajes complejos, aunque sin tener que realizar procesos de programación. Como documentación gráfica del proyecto se obtendrán los planos definitivos de la obra a nivel de anteproyecto básico.
3. En la última parte del trabajo, y de cara a su presentación y defensa, se realizará una recreación virtual del proyecto con las herramientas específicas del software utilizado, así como su implementación con un software complementario como Autodesk InfraWorks 360.

3 ELECCIÓN DEL ÁMBITO

A la hora de decidir sobre la ubicación de la infraestructura, se han tenido en cuenta como criterios de elección la topografía de terreno, su valor paisajístico y que se encuentre en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

El primero de los criterios persigue emplear un ámbito escarpado en el que el emplazamiento de la infraestructura requiera de cierto grado de análisis y posibilite diferentes alternativas.

El segundo criterio de elección está enfocado a la parte de la presentación gráfica del modelo, de modo que con ella se pueda constatar de forma clara la utilidad de las herramientas que se tratan a la hora de analizar el impacto visual en el medio recreando el resultado final.

El último de los criterios se debe a la gran cantidad de información SIG que la Junta de Andalucía tiene a disposición del ciudadano, siendo, por tanto, completa y accesible para la correcta y fluida realización del trabajo.

Ante estas premisas, se lleva a cabo un bosquejo de posibles lugares que reúnan estos valores. De entre los diferentes candidatos, se decide trabajar sobre el entorno del embalse de La Minilla, ubicado en la Sierra Norte de Sevilla. Se da la circunstancia de que, debido a la construcción de este embalse décadas atrás, quedó inundado un tramo de la carretera que conectaba las localidades sevillanas de El Ronquillo y El Castillo de las Guardas, inutilizándola por completo. Es entonces que este lugar no sólo aglutina los tres criterios planteados (orografía con cierto escarpe que propició la construcción del embalse, valor paisajístico propio de la Sierra Norte de Sevilla añadiendo la presencia de agua y ubicado en territorio andaluz), sino que además plantea un problema real objeto de la ingeniería civil: la pérdida de comunicación directa entre dos núcleos de población.

Claro está que la unión directa por carretera de El Ronquillo y El Castillo de las Guardas no es, ni mucho menos, una prioridad (no está contemplada en los planes territoriales aplicables), ya que actualmente no supondría notables beneficios en cuanto a servicios para dichas poblaciones, pero sí es cierto que el corte de comunicación directa entre ambas es real y que la apertura de esta nueva vía podría poner en valor el patrimonio natural de la zona y permitir, tal vez, un desarrollo entre dichos municipios.

Por tanto, visto todo lo anterior, se decide emplazar el estudio en el entorno del embalse de La Minilla con objeto de recuperar la antigua carretera entre El Castillo de las Guardas y El Ronquillo, inutilizada tras la construcción del embalse.



Figura 4.1.1. Situación del ámbito en la Península Ibérica. Fuente: Google Maps.

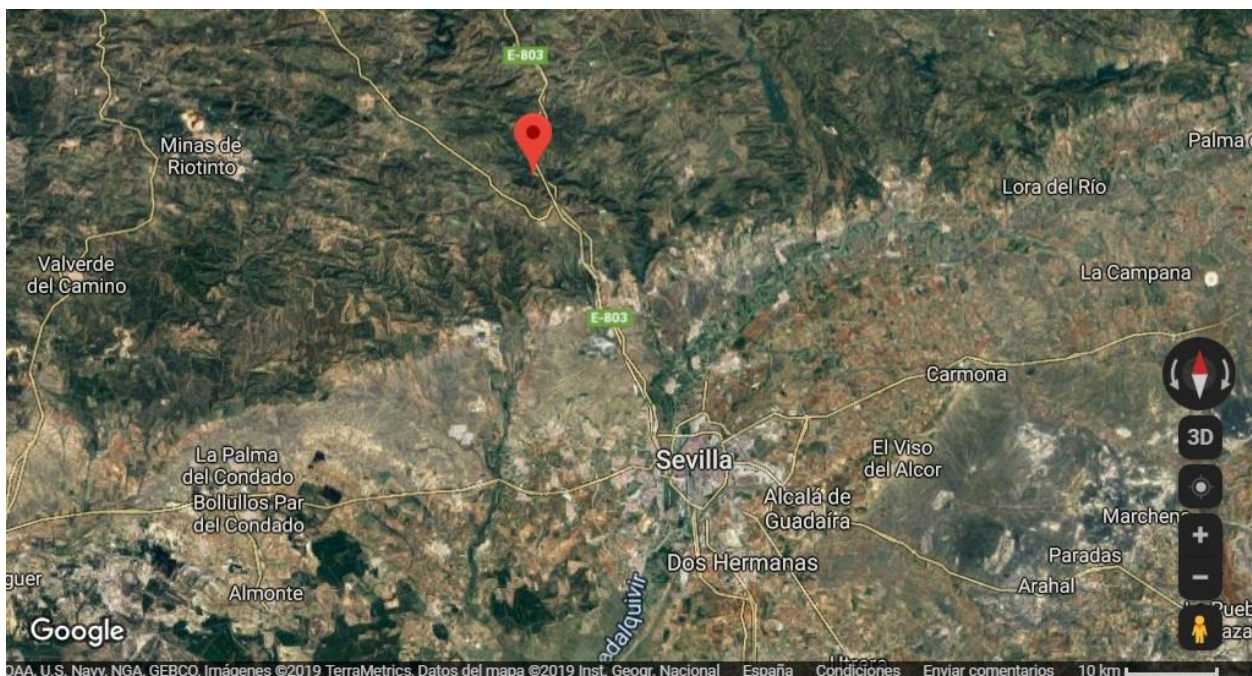


Figura 4.1.2. Situación regional del ámbito. Fuente: Google Maps.

4 CONSTRUCCIÓN DE ALTERNATIVAS

Se procede en las siguientes líneas al detalle de cómo se obtienen cada una de las alternativas que serán sometidas a análisis con el fin de escoger la más adecuada. Ello se detallará en el capítulo posterior, centrándose los siguientes epígrafes en desarrollar lo relativo a la fuente de donde se han tomado los datos y al tratamiento informático de los mismos.

4.1 Obtención de la cartografía

Una vez seleccionada la ubicación de la infraestructura que se dimensionará en adelante, es necesario conocer la topografía del terreno en cuestión. Para ello se recurre a la base de datos cartográfica de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, a la que se puede acceder online a través de su página web.

Tras localizar en el mapa interactivo la zona en cuestión, se procede a descargar las correspondientes hojas cartográficas con el modelo digital del terreno, las cuales se resumen en la Tabla 4.1.1.

Tabla 4.1.1. Cartografía utilizada.

Hoja	Vuelo
939-3-3	MDE REGIONAL 2013
939-3-4	MDE REGIONAL 2013
939-4-3	MDE REGIONAL 2013
939-4-4	MDE REGIONAL 2013
940-1-3	MDE REGIONAL 2013
940-1-4	MDE REGIONAL 2013

4.2 Implementación de la cartografía

Una vez se han obtenido los archivos del modelo digital del terreno de la zona, se procede al tratamiento de los datos con las herramientas informáticas que protagonizan este estudio, suponiendo esta la primera toma de contacto con ellas en el proceso.

En primer lugar, es necesario cargar la información cartográfica en AutoCAD Civil 3D. Para ello se selecciona la opción “Puntos de archivo” de la pestaña “Insertar” de la barra superior de herramientas del programa, abriéndose un menú donde habrá que seleccionar los archivos de coordenadas .xyz que se han descargado de la web de la Junta de Andalucía.

Hay que señalar que de forma previa se establece el sistema métrico en el programa, en su caso, y el tipo de proyección geográfica a emplear. Para el presente trabajo se empleará la proyección ETRS89 / UTM 30N.

Una vez cargada la cartografía en AutoCAD Civil 3D, se guarda el archivo en formato .dwg para su carga en el programa Autodesk InfraWorks. Tras abrirlo y crear un nuevo modelo, se importa la información geográfica a través de la opción “Origen de datos” y se actualiza el visor para cargar la superficie generada. Además, se pueden implementar imágenes ráster vía satélite en la superficie generada. Tan sólo es necesario cargarlas en la opción “Conectar con origen de datos”, seleccionar el tipo de conexión (*maps* en este caso) y la resolución de las imágenes, actualizando el modelo al finalizar para que sea visible la superficie generada.

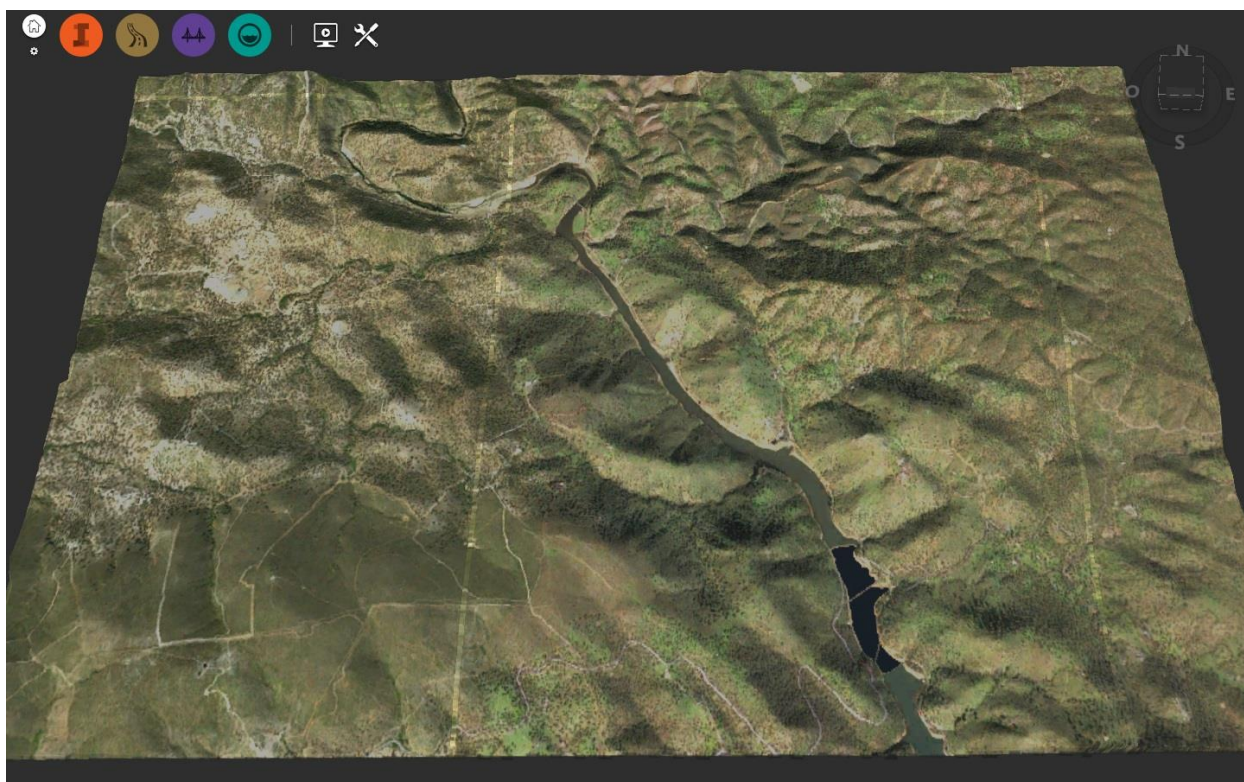


Figura 4.2.1. Vista general de la cartografía cargada en Autodesk InfraWorks.

Nótese la utilidad que presenta esta herramienta al haber cargado la cartografía a través del modelo digital del terreno obtenido, y representar este con fidelidad implementando las imágenes de satélite. Se puede recorrer el ámbito a través del visor a golpe de ratón, proporcionando multitud de posibilidades a la hora de tomar decisiones sobre el mismo.

4.3 Diseño de alternativas

De forma genérica se comentará el proceso para generar las diferentes alternativas que serán sometidas a estudio. Hay que recordar que uno de los objetivos de este trabajo es demostrar la utilidad de las herramientas informáticas mencionadas en la resolución de problemas de ingeniería como el que se trata, por lo que este apartado, junto con lo anteriormente visto, adquiere capital importancia al facilitar en gran medida el bosquejo y el encaje de diferentes propuestas de análisis concretas.

El diseño de las alternativas se llevará a cabo con Autodesk InfraWorks. Tras realizar una inspección visual del ámbito cargado en el programa a través de la superficie generada con la cartografía y las imágenes ráster, se seleccionan los posibles lugares donde podría ubicarse la infraestructura. Se ha indicado que una de las premisas es recuperar la carretera inutilizada tras la construcción del embalse, por lo que será en este entorno donde se centrará la búsqueda.

Una vez localizados los emplazamientos, cuyas características se detallarán junto con cada alternativa, se procede al encaje de la infraestructura. Tan sólo se mencionarán aquí las herramientas utilizadas para ello, ya que las alternativas en sí se construyen de forma similar y se explicarán con posterioridad.

Dado que hasta el momento se trata el problema de forma preliminar, y como se busca mostrar la sencillez que ofrecen estos programas informáticos, se utilizarán únicamente dos elementos de diseño conceptual para elaborar las infraestructuras. Concretamente, en el menú de InfraWorks se selecciona la opción “Crear elementos” dentro de “Crear, administrar y analizar el modelo de infraestructuras”, abriéndose un desplegable con multitud de opciones de diferente naturaleza. Para el punto del proceso actual, sólo se elegirá la opción “Carreteras”, utilizando otras más adelante en el trabajo.

El menú “Carreteras” ofrece múltiples tipos de calzada, pudiéndose escoger diferentes modelos según la necesidad que se pretenda cubrir. Para el caso de la infraestructura que se persigue, se seleccionarán las genéricas “Asphalt road” para el tramo de carretera sobre el terreno y “Bridge road” para el tramo correspondiente al viaducto. Con cada una de estas opciones, se hace clic sobre el terreno para establecer el punto inicial de la infraestructura lineal, y otros tantos clicks como nodos se quieran establecer en la misma, hasta llegar al punto final.

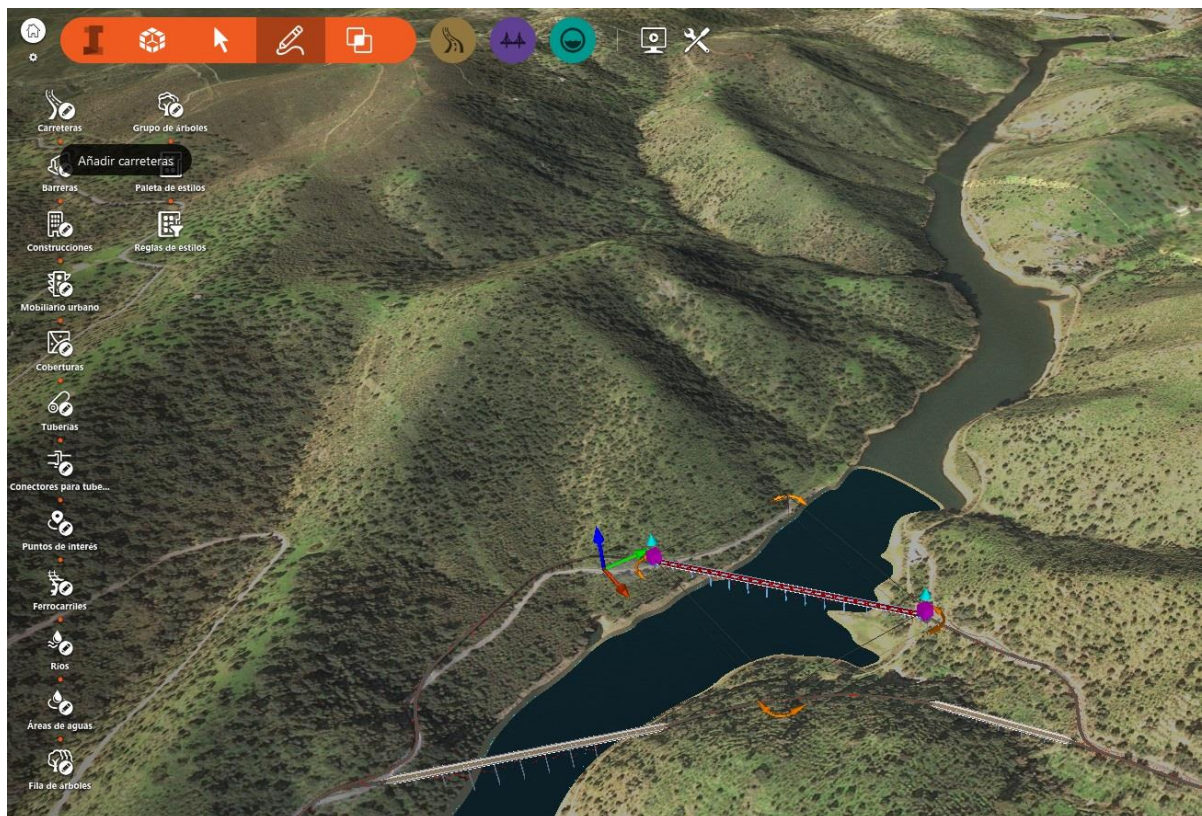


Figura 4.3.1. Instantánea del proceso de diseño de las alternativas.

Entre las muchas posibilidades de edición que ofrece el programa, también se puede editar el terreno. Concretamente, se ha señalado la zona de agua del embalse del entorno de la antigua carretera que se pretende recuperar como “masa de agua”.

Una vez presente la infraestructura, ya sea carretera genérica de asfalto o viaducto, pinchando sobre ella se abre un desplegable donde se pueden editar sus características, tales como nombre, tipo, atributos, geometría, etc. A nivel de encaje de alternativa, sólo se editarán por el momento las elevaciones, pendientes y transiciones para posibilitar la conexión entre los tramos de carretera y viaducto.

Con esos sencillos pasos aplicados en cada lugar donde se emplace una alternativa, a un nivel tan básico se pueden obtener ya elementos de valor para emitir juicio sobre la idoneidad de cada una de ellas.

4.4 Descripción de las alternativas a considerar

Se procede, a continuación, a detallar las diferentes posibilidades de infraestructura a realizar en base a las construcciones llevadas a cabo virtualmente en Autodesk InfraWorks. En el epígrafe siguiente se valorará cada alternativa con diferentes criterios para la elección de la más adecuada.

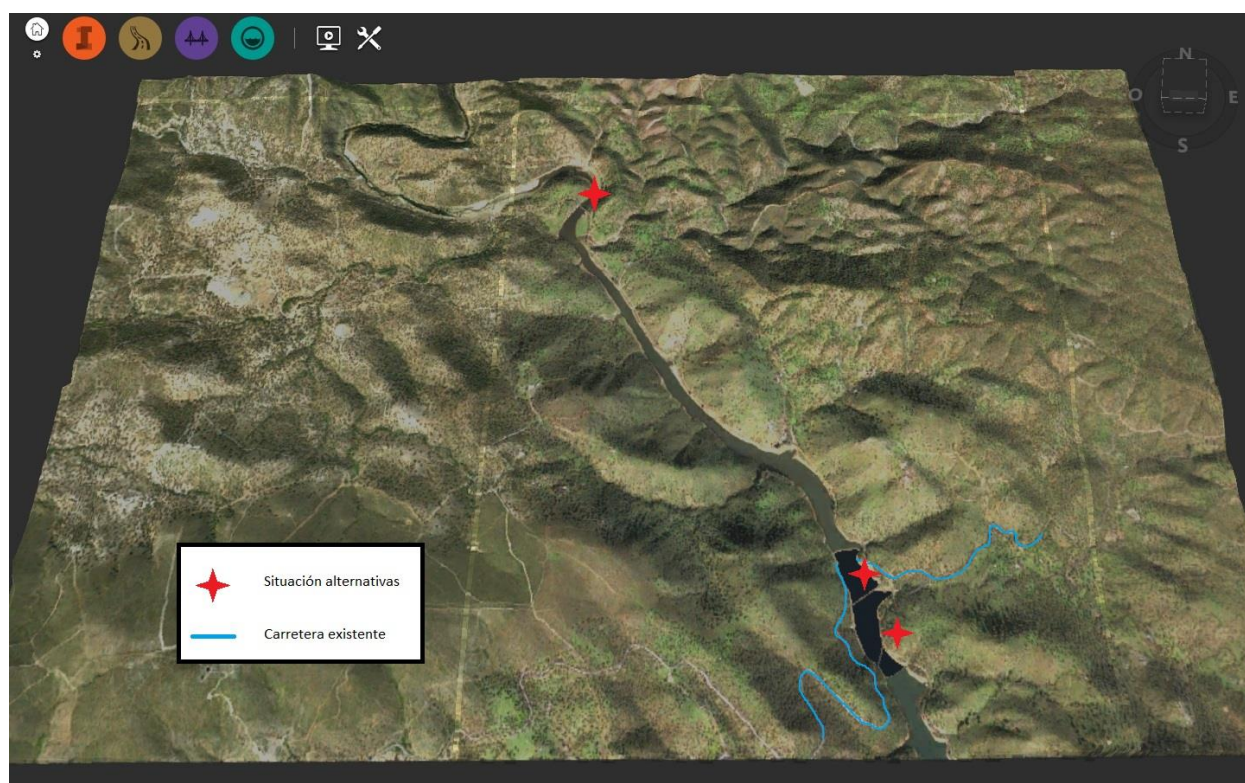


Figura 4.4.1. Vista general de las alternativas.

4.4.1 Alternativa 0

Se trata de una opción indispensable en todo análisis de un proyecto de ingeniería: la posibilidad de no hacer nada. Se basaría, por tanto, en no realizar la infraestructura que permita la recuperación de la carretera que conecta directamente El Ronquillo con El Castillo de las Guardas. Dado que no se trata de un proyecto real y la realización de la infraestructura sólo persigue fines académicos, esta alternativa no tendría sentido, si bien es necesaria su definición para introducirla en el posterior análisis multicriterio.

4.4.2 Alternativa 1

Se trata de la zona más al norte del ámbito en cuestión. Se escoge por ser estrecha la masa de agua en el lugar y existir un camino a ambos lados de la misma, el cual quedaría conectado cuando el embalse está a nivel bajo. El camino surge tras la creación del embalse, como prolongación de la antigua carretera por el margen oriental de la masa de agua.

Llevar a cabo esta alternativa implicaría el menor viaducto posible respecto a las restantes (105 metros aproximadamente), si bien habría que convertir el camino en carretera (ampliando considerablemente la antigua existente) y variar su trazado en el margen occidental, ya que no conecta directamente a los dos municipios.

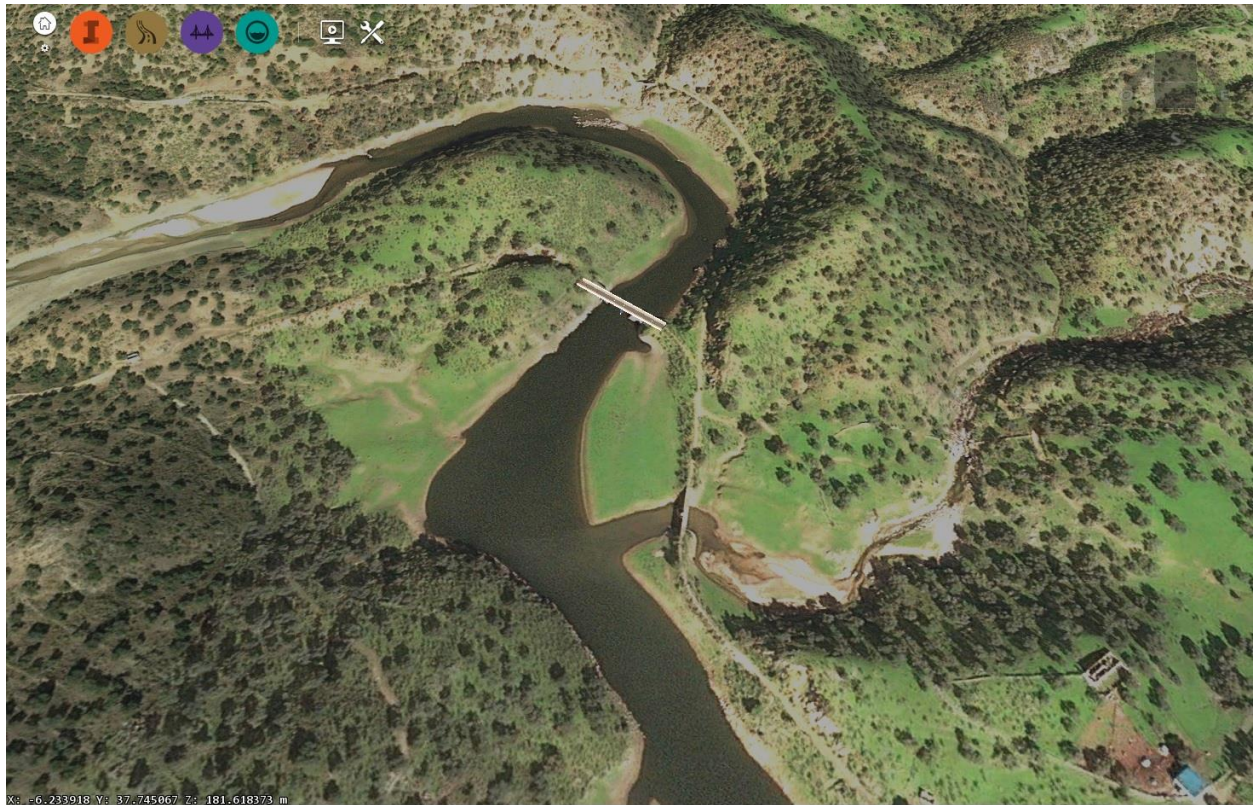


Figura 4.4.2. Alternativa 1.

4.4.3 Alternativa 2

Continuando aguas abajo de la alternativa 0, hacia el sur por el embalse, se ubica la alternativa 2. En este caso se trata de la conexión “natural” entre los extremos cortados de la antigua carretera. Se presenta, entonces, un viaducto de mayores dimensiones (en torno a 370 metros) y la adecuación del trazado de la carretera en el margen occidental del embalse, si bien en el oriental la conexión con la carretera existente no requeriría modificaciones adicionales.

4.4.4 Alternativa 3

Aún más al sur de la anterior, y prácticamente contigua a ella, se emplaza la alternativa 3. Consta de dos tramos de viaducto, uno para salvar un desnivel y otro para salvar la masa de agua (155 y 280 metros, respectivamente). Los viaductos son más pequeños que el de la alternativa 2, si bien la suma de sus longitudes lo supera. Por otra parte, conectaría con la carretera existente en el margen oriental en un punto más alejado del agua y requeriría la definición de un nuevo tramo en la elevación que atraviesa. En el margen occidental prácticamente no se vería afectado el trazado.



Figura 4.4.3. Alternativa 2.

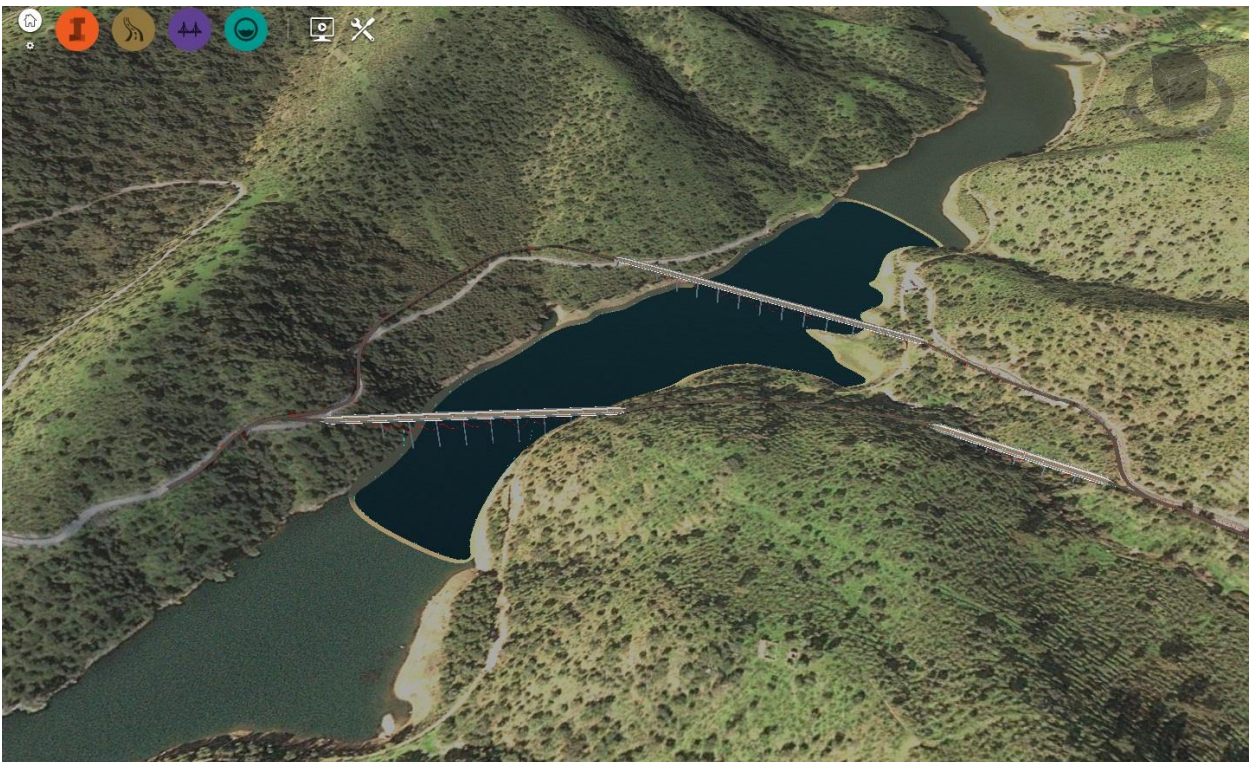


Figura 4.4.4. Alternativa 3.

5 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Como se adelantó anteriormente, se procede a someter a las alternativas definidas a análisis, de forma que se extraiga del mismo la más adecuada. Al tratarse de un estudio con fines académicos y no de un proyecto real, los criterios económicos (de capital importancia en la planificación de infraestructuras) se obviarán del mismo, así como su relación con el acceso a los servicios y beneficios sociales que reportaría, ya que, de tenerlos en cuenta, la alternativa resultante del análisis sería la alternativa 0, imposibilitando la continuación del trabajo.

Dicho lo anterior, se establecen como criterios de valoración los siguientes:

- Longitud de los tramos de viaducto involucrados.
- Aprovechamiento de las carreteras existentes.
- Disminución de la sinuosidad del itinerario.
- Longitud del tramo intervenido.
- Impacto visual.
- Vistas y paisajismo.

5.1 Desarrollo de los criterios

5.1.1 Longitud de los viaductos

Aunque se ha indicado que se obviará el componente económico, sí hay que tener presente la optimización de los recursos en la medida de lo posible y no eximiendo esto del discernimiento ingenieril. Este criterio valorará positivamente la menor longitud de los viaductos de cada alternativa.

5.1.2 Aprovechamiento de las carreteras

Siguiendo con los principios mencionados, se valorará positivamente no ampliar o modificar el trazado de la carretera existente.

5.1.3 Disminución de la sinuosidad

Se valorará positivamente a aquellas alternativas que no incrementen la sinuosidad del trazado de la vía y que fomenten su continuidad de forma suave.

5.1.4 Longitud del tramo

Se valorará positivamente la menor longitud total del recorrido respecto a cada alternativa.

5.1.5 Impacto visual

Se valorará positivamente la reducción del impacto que cause cada alternativa en el entorno.

5.1.6 Vistas

Se valorará positivamente a aquellas alternativas que ofrezcan mejor visión del entorno natural que se quiere poner en valor.

5.2 Puntuación de las alternativas

Al existir un total de cuatro alternativas, se valorará con cuatro caracteres numéricos, siendo el 0 la puntuación más baja y 3 la más alta y positiva. Además, cada criterio se ponderará en atención a su relevancia según lo establecido en la Tabla 5.2.1, normalizándose de tal forma que su suma sea la unidad.

Es necesario recordar que el estudio sólo tiene fines académicos y que se persigue demostrar la utilidad de las herramientas informáticas, por un lado, y la puesta en valor del entorno, subsidiariamente. Por tanto, los conceptos relacionados con esto último tendrán mayor peso sobre los demás.

Tabla 5.2.1. Ponderación de los criterios para la evaluación de alternativas.

Criterio	Peso
A. Longitud de los viaductos	0,1
B. Aprovechamiento de las carreteras	0,15
C. Disminución de la sinuosidad	0,15
D. Longitud del tramo	0,1
E. Impacto visual	0,25
F. Vistas	0,25

La alternativa 0 obtendría la máxima puntuación en los criterios A, D y E, ya que la longitud de los viaductos implicados es nula, así como la longitud del tramo involucrado y el impacto visual que produce. En cambio, en el resto de criterios obtendría la mínima puntuación, ya que no aprovecha en absoluto las carreteras existentes (inutilizadas para el fin que se propone), no disminuye la sinuosidad del conjunto y no ofrece vistas mejores de las existentes que pongan en valor el paisaje.

La alternativa 1 obtendría la máxima puntuación en el criterio A, al tener el viaducto de menor longitud, y en el E, ya que por su situación y tamaño apenas afecta visualmente al entorno. Sin embargo, obtendría la mínima en aprovechamiento de carreteras (no lo hace) y longitud del nuevo tramo (es el mayor con diferencia). Además, las puntuaciones relativas a las vistas (poco relevantes) y disminución de la sinuosidad serían bajas.

La alternativa 2 obtendría buena puntuación en el criterio de aprovechamiento de la carretera existente, ya que es la que más se ciñe a ella, si bien obtendría una puntuación baja en los criterios de disminución de sinuosidad (no la lleva a cabo) e impacto visual, pues la carretera es el principal punto de vista y desde ella se observa siempre toda la infraestructura. En el resto obtendría puntuaciones intermedias.

La alternativa 3 obtendría buenas puntuaciones en el criterio C, ya que disminuye considerablemente la sinuosidad; D, al disminuir el recorrido; E, ya que desde el principal punto de vista no se observa la infraestructura; y F, al describir una curva abierta y suave que permite observar el interior del embalse aguas arriba. Obtendría puntuaciones intermedias en el aprovechamiento de carreteras (lo hace, pero añade un tramo nuevo) y bajas en el criterio de longitud de viaductos, ya que la suma de ambos es la mayor de todas.

Tabla 5.2.2. Resumen de las puntuaciones obtenidas por cada alternativa.

Alternativa \ Criterio	A	B	C	D	E	F	Suma ponderada
0	3	0	0	3	3	0	1,35
1	2	1	0	0	1	2	1,10
2	1	3	1	1	1	2	1,55
3	0	2	2	2	2	3	2,05

A la luz de los resultados obtenidos en el análisis multicriterio, expresado numéricamente en la Tabla 5.2.2, se deduce que la mejor alternativa para llevar a cabo el estudio que se pretende es la alternativa 3.

Una vez seleccionado el emplazamiento definitivo, como se acaba de hacer, y un esquema provisional de cómo será la infraestructura que deberá diseñarse (realizado en Autodesk InfraWorks, como se ha visto), se procede a salvar el modelo e introducirlo de nuevo en AutoCAD Civil 3D para definir la obra de forma técnica. De todo ello se dará detalle en epígrafes posteriores.

6 DISEÑO DE LA CARRETERA: CIVIL 3D

En este capítulo se tratará todo lo relativo al diseño de la carretera, que como ya se adelantó, se llevará a cabo con la herramienta Civil 3D de AutoCAD. Este software, como se ha dejado entrever en capítulos anteriores, presenta grandes ventajas a la hora de abordar proyectos de infraestructuras lineales. La más significativa, quizás, sea el hecho de que realiza un tratamiento gráfico de los elementos de forma parametrizada, lo que implica que, de llevarse a cabo cambios sobre ellos en algún momento del proceso, el programa actualiza automáticamente los elementos para ajustarlos a los cambios, no siendo necesario redefinirlos con las nuevas características.

Junto con la gran potencia que presenta tal parametrización del dibujo, existen otras múltiples ventajas a la hora del cálculo y representación especialmente enfocadas a las obras lineales. Muchas de ellas se pondrán de manifiesto a lo largo del capítulo, a medida que vaya avanzando el proceso en las siguientes páginas.

6.1 Datos de partida

Recapitulando hasta el momento, se inició el estudio obteniendo una base cartográfica que fue introducida en AutoCAD Civil 3D para su ensamblaje, migrándola posteriormente a Autodesk InfraWorks para construir sobre ella las diferentes propuestas o alternativas en el ámbito local para la realización del estudio. Una vez seleccionada la alternativa con mayor puntuación del análisis multicriterio, se procede a devolver los datos a AutoCAD Civil 3D desde Autodesk InfraWorks.

Como ya se comentó, el uso de ambos programas combinados presenta multitud de utilidades y ventajas. En concreto, a la hora de volver a Civil 3D tras haber construido las alternativas, el proceso se realiza de forma sencilla seleccionando la opción “Abrir modelo de InfraWorks” en la pestaña “Insertar” del menú de AutoCAD Civil 3D. Aparece un desplegable donde habrá que introducir la ubicación del archivo de InfraWorks, en formato *.sqlite*, y el sistema de coordenadas, ETRS89 / UTM zone 30N para el ámbito en cuestión.

En el archivo con la información inicial se han construido hasta tres alternativas distintas. La interfaz de importación de archivos de InfraWorks a Civil 3D permite seleccionar qué elementos contenidos en el archivo deben pasar y cuáles no. Por tanto, se podrán desechar en ese momento los elementos correspondientes a las dos alternativas diseñadas en InfraWorks y no seleccionadas mediante el análisis multicriterio, sin necesidad de elaborar un modelo nuevo ni de hacer una copia para eliminar lo que no servirá. Se pueden cribar, por tanto, los elementos al pasar de un programa a otro mediante la opción “Refinar conjunto de selección”.

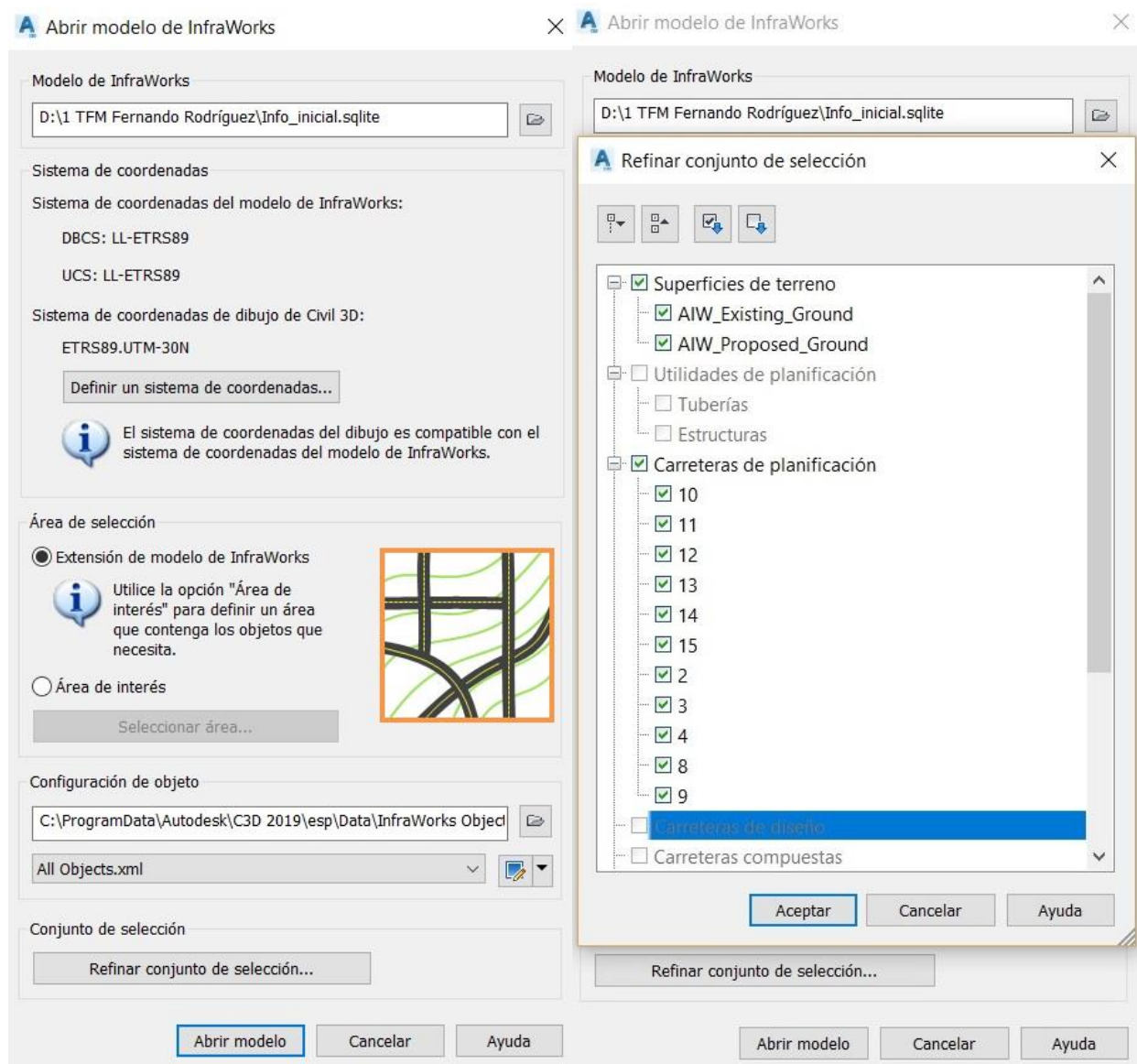


Figura 6.1.1. Interfaz de importación de archivos desde InfraWorks a Civil 3D.

6.2 Alineación en planta

Para la definición del trazado de la obra lineal se partirá de los datos trasvasados desde InfraWorks. Así, descartada la información no válida, se creará una alineación a partir de una polilínea que recorra todo el itinerario viario.

Es importante señalar que en Autodesk Civil 3D no es posible unir alineaciones, por lo que adquiere gran interés definir una única alineación desde el primer momento para evitar complejidades posteriores.

El proceso es sencillo. Cliqueando sobre la opción “Alineación” de la pestaña “Inicio” de Civil 3D, se selecciona “Crear alineación a partir de objeto” para dibujar la alineación sobre la mencionada polilínea, abriéndose a continuación un menú donde indicar algunas características sobre la misma.

Hay que señalar que en lo referente al trazado de la carretera, en España es de aplicación la Norma 3.1-IC. Trazado (Orden FOM/273/2016 de 19 de febrero de 2016). Una de las utilidades de Autodesk Civil 3D es que permite implementar normativa de diseño al programa, por lo que no tendremos que actuar localmente sobre cada punto de la carretera indicando sus características, sino que señalando las opciones correspondientes en el apartado “Norma de diseño” del menú antes mencionado, el programa ajustará el trazado a dicha norma. Las

conclusiones que pueden obtenerse sobre la utilidad de esta función son inmediatas. Se seleccionará, por tanto, la Instrucción de Carreteras.

Se establecerá inicialmente una velocidad máxima de 90 km/h para la vía que se diseñará, que es la máxima permitida en carreteras secundarias españolas para un vehículo tipo turismo. Además, de entre las opciones que permite especificar el menú una vez asignada la Instrucción de Carreteras, se establecerá el Grupo 3 (carreteras convencionales hasta 90 km/h) para la tabla de radios mínimos, 2 carriles para la tabla de longitudes de transición, y carretera con bombeo en el método de definición de peraltes.

Crear alineación a partir de objetos

Nombre: Alignment - (<[Siguiente contador(CP)]>)

Tipo: Eje

Descripción:

P.K. inicial: 0+000.00m

General Normas de diseño

Velocidad de proyecto inicial: 90 km/h

☒ Usar diseño según normas

☒ Usar archivo de normas de diseño

C:\ProgramData\Autodesk\C3D 2019\esp\Data\Corridor

Normas por defecto:

Propiedad	Valor
Tabla de radios mínimos	GRUPO3 C. Convencional y M...
Tabla de longitudes de transi...	2 Carriles C-90 -> C-40
Método de definición de peral...	Carretera con Bombeo

☒ Usar conjunto de comprobaciones de diseño

Basic

Aceptar Cancelar Ayuda

Figura 6.2.1. Normas de diseño en Civil 3D.

Una vez completados estos pasos, cabe preguntarse si habrá seguridad de que se está diseñando de una forma acorde con la normativa. En caso de marcar la opción de comprobaciones de diseño, como se ha hecho, en la alineación se indicará con una advertencia, tanto en la pantalla de dibujo como en la tabla de datos, aquellos tramos que no cumplen con las especificaciones de la norma.

Es necesario mencionar que AutoCAD Civil 3D utiliza el paquete “Basic” para las comprobaciones de diseño, que no tiene por qué corresponderse con la norma que se ha usado para diseñar. Entonces, o bien se redefine el paquete de comprobaciones ajustándolo a la norma o bien se establece otro nuevo con las características que se consideren adecuadas. De lo contrario, el programa mostrará multitud de advertencias por mal diseño en

función no de la normativa española, como es el caso, sino del paquete “Basic”. Tras modificar la velocidad máxima de diseño a 40 km/h por las exigencias de la orografía en cuanto al cumplimiento de la Instrucción de Carreteras, se opta por mantener el criterio referente a espirales, eliminar la longitud mínima de tramos rectos y fijar el radio mínimo en 50 m.

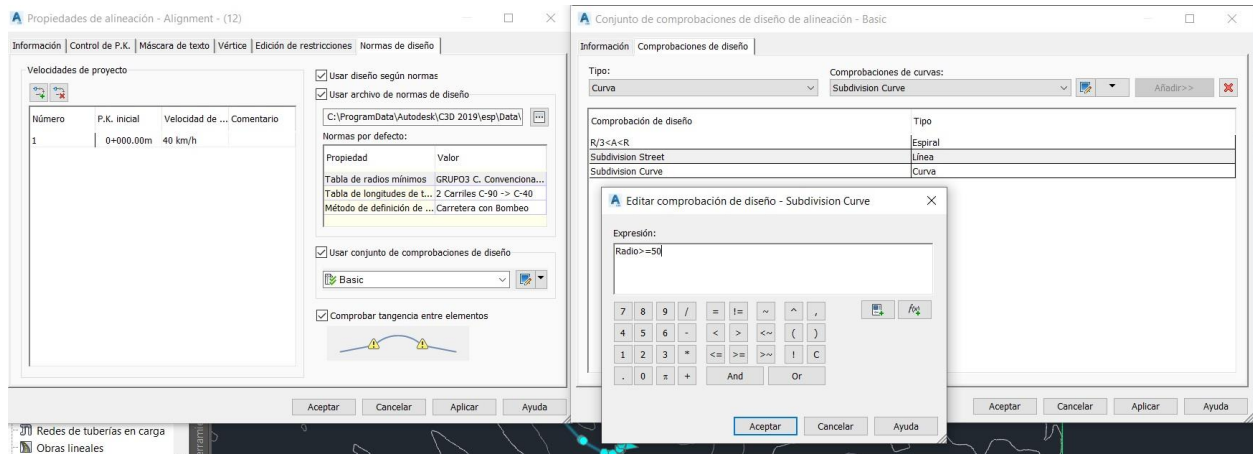


Figura 6.2.2. Edición de criterios de comprobación del paquete “Basic” de Civil 3D.

En aquellos lugares donde, ahora sí, aparezca la advertencia, se podrán editar de forma manual en el dibujo o en la tabla de datos de la alineación los parámetros a corregir hasta ajustar el trazado a las exigencias de la norma y del paquete de comprobaciones.

Se da la circunstancia de que los aspectos normativos no se han tenido en cuenta anteriormente en el diseño de alternativas en Autodesk InfraWorks, y por supuesto tampoco cumple sus exigencias la carretera preexistente, todo lo cual propicia una sucesión de advertencias en la alineación creada debido a que el programa no es capaz de ajustarla a norma en diferentes tramos a partir de la polilínea proporcionada.



Figura 6.2.3. Advertencia sobre la alineación creada en la pantalla de dibujo.

Se decide, entonces, simplificar la polilínea de partida, especialmente en el tramo correspondiente a la carretera antigua en la orilla oriental, cuyos radios eran demasiado bajos e imposibles de adecuar a la normativa. Asimismo, como ya se ha indicado, es necesario disminuir la velocidad máxima de diseño ya que, aun habiendo modificado ya la polilínea base para permitir mayor acción del programa en los radios, la

orografía dificulta la implantación de curvas cuyos radios permitan velocidades mayores. De esta forma se le deja suficiente margen al programa para que ajuste la alineación conforme a la norma, atendiendo a los principios ya comentados de aprovechamiento en lo posible del trazado de la carretera antigua y la menor afección paisajística posible.

Se está diseñando, en definitiva, con la velocidad más desfavorable, y aunque esta es necesaria en la mayoría de las curvas presentes, en las rectas de mayor longitud (viaducto) podrá circularse a mayor velocidad.

TABLA 4.1.

LONGITUDES MÍNIMA Y MÁXIMA RECOMENDABLES
EN ALINEACIONES RECTAS.

(V _p) (km/h)	L _{min,s} (m)	L _{min,o} (m)	L _{max} (m)
140	195	389	2 338
130	181	361	2 171
120	167	333	2 004
110	153	306	1 837
100	139	278	1 670
90	125	250	1 503
80	111	222	1 336
70	97	194	1 169
60	83	167	1 002
50	69	139	835
40	56	111	668

TABLA 4.4.

RELACIÓN VELOCIDAD DE PROYECTO - RADIO MÍNIMO - PERALTE MÁXIMO.

VELOCIDAD DE PROYECTO (V _p) (km/h)	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3	
	A-140 y A-130		A-120, A-110, A-100, A-90, A-80 y C-100		C-90, C-80, C-70, C-60, C-50 y C-40	
	RADIO MÍNIMO (m)	PERALTE MÁXIMO (%)	RADIO MÍNIMO (m)	PERALTE MÁXIMO (%)	RADIO MÍNIMO (m)	PERALTE MÁXIMO (%)
140	1 050	8,00	--	--	--	--
130	850	8,00	--	--	--	--
120	--	--	700	8,00	--	--
110	--	--	550	8,00	--	--
100	--	--	450	8,00	--	--
90	--	--	350	8,00	350	7,00
80	--	--	250	8,00	265	7,00
70	--	--	--	--	190	7,00
60	--	--	--	--	130	7,00
50	--	--	--	--	85	7,00
40	--	--	--	--	50	7,00

Figura 6.2.4. Tablas sobre de longitud y radio en función de la velocidad contenidas en la Norma 3.1 IC Trazado (Ministerio de Fomento, 2016).

6.3 Perfil longitudinal

Para la definición de las pendientes de la obra lineal es necesaria la creación de un perfil longitudinal de la misma. Ello se lleva a cabo una vez definido el trazado de la alineación del epígrafe anterior.

El proceso es, nuevamente, sencillo. Se cliquea sobre la opción “Perfil” de la pestaña “Inicio” de Civil 3D y se selecciona “Crear perfil de superficie”, abriéndose un menú donde hay que indicar la alineación y la superficie que se deseen utilizar. Añadiendo el conjunto y pinchando en “Dibujar en visualización de perfil”, se abre una ventana donde editar algunas características como los sombreados o las guitarras, que podrán editarse posteriormente. Tan sólo queda señalar el lugar en el que ubicar el perfil en la pantalla de dibujo.

En este momento es conveniente señalar que Autodesk dispone de los llamados “Country kits”, unos paquetes con plantillas que recogen determinadas particularidades y características en el proceso de diseño en relación a cada país, con el objeto de evitar duplicidades en el trabajo del usuario. Se puede descargar de la web de Autodesk, por tanto, el paquete correspondiente a España en su versión de 2019, la misma que se utiliza en Civil 3D en el presente estudio. Esto cobrará gran interés para el diseño de las guitarras o para las especificaciones paramétricas del diseño de la rasante, al igual que ya se ha introducido en el epígrafe dedicado a la alineación en planta.

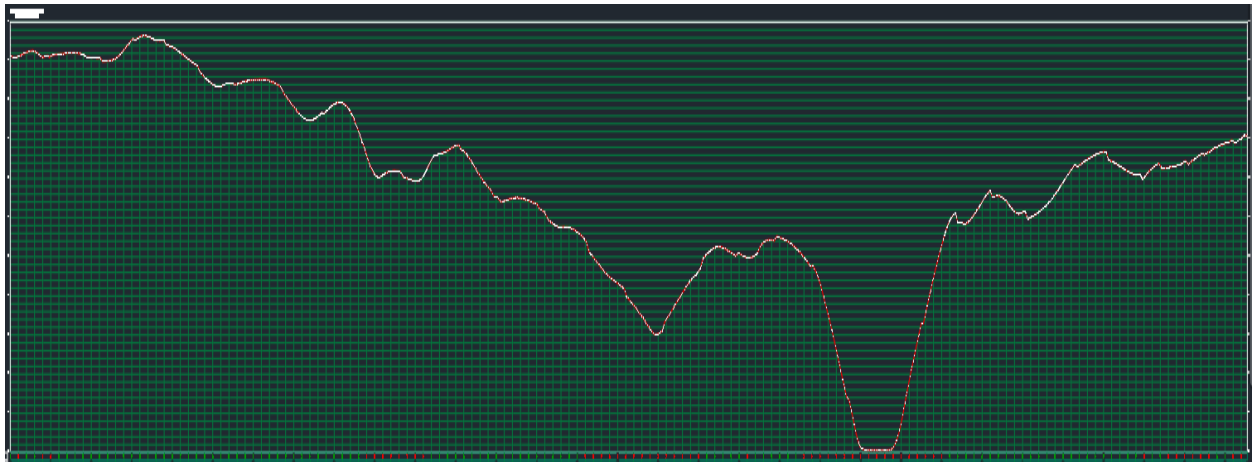


Figura 6.3.1. Perfil longitudinal del terreno.

Una vez creado el perfil longitudinal, se observa que este sigue la topografía del terreno, por lo que se procede entonces a definir la infraestructura viaria desde esta perspectiva.

Para crear la rasante, se selecciona la opción “Herramienta de creación de perfiles” de la pestaña “Perfil” ya mencionada. Cliqueando, a continuación, sobre la visualización del perfil, se abre una nueva ventana donde editar las características de diseño. Pulsando en “Aceptar”, aparece el menú de edición que permitirá dibujar la rasante. Se seleccionará la opción “Dibujar tangentes con curvas”.

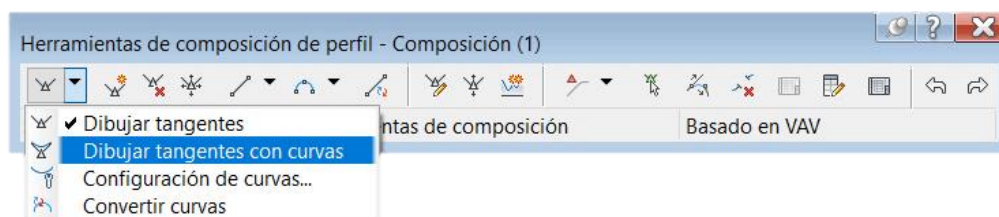


Figura 6.3.2. Tabla de herramientas para definir la rasante.

Para este diseño, y de forma similar a la alineación en planta, puede seleccionarse la opción de hacerlo conforme a normativa y así tener en cuenta la Instrucción de Carreteras del Ministerio de Fomento. A diferencia del caso anterior que se menciona, en cuanto a parámetros de diseño, el “Country kit” para España no tiene implementadas las opciones propias de la normativa, sólo pudiendo considerar el estándar de la AASHTO 2011 para el parámetro k mínimo (referente a la curvatura). Por el contrario, sí se incluyen las comprobaciones de la normativa española, por lo que aunque el primer encaje (automático de Civil 3D) se realice con parámetros estándar, la corrección se podrá llevar a cabo considerando las especificaciones contenidas en la Instrucción de Carreteras. En todo caso, como ya se vió en el caso de alineación en planta, se podrán modificar los criterios de comprobación de forma manual para adaptarlos a las situaciones que se traten.

Una vez hecho un primer encaje de la rasante en el perfil del terreno, se pueden ir modificando ambos con las herramientas de edición. Modificar el perfil del terreno significa realizar cambios en el trazado. Ello puede hacerse sin temor a incurrir en fallos de diseño, ya que saltaría la advertencia en cuanto no se cumpliesen las especificaciones de la normativa. Por tanto, se realiza un segundo ajuste.

Estos sucesivos encajes que se llevan a cabo no tendrán por qué ser definitivos, ya que aún no se han considerado cuestiones como la pendiente o la compensación de volúmenes, que se tratarán más adelante.

Para los acuerdos verticales realizados hasta este punto, se ha corregido con un parámetro k adecuado respecto a la Tabla 5.3 de la Instrucción de Carreteras española. Concretamente, la plantilla correspondiente a España

de Civil 3D transforma a metros el parámetro k de la AASHTO 2011, que se introduce en pies, quedando del lado de la seguridad la comprobación respecto a la norma española.

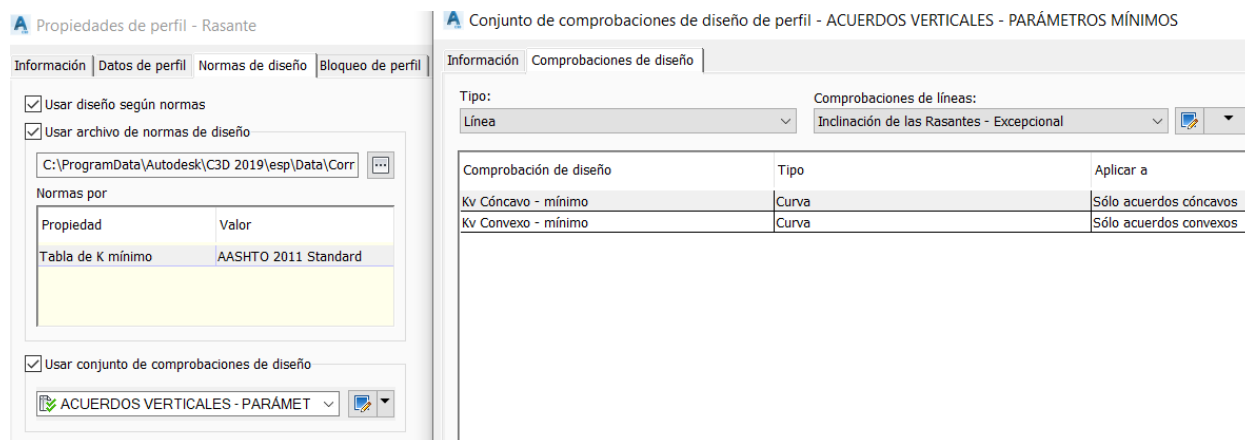


Figura 6.3.3. Comprobación de acuerdos verticales mínimos en Civil 3D.

En la siguiente tabla se recogen los valores utilizados para la comprobación en el programa, tanto valores mínimos como deseables, observándose en la Figura 6.3.4 cómo el valor de k en cada acuerdo cumple con las especificaciones para una velocidad de proyecto de 40 km/h. Ello no es de extrañar, ya que al haber diseñado considerando la AASHTO 2011 se han aplicado sus criterios, más restrictivos que los de la norma española (los cuales aparecen en las últimas columnas de la Figura 6.3.4).

Tabla 6.3.1. Valores utilizados en la comprobación de acuerdos verticales.

$V_p \geq 40 \text{ km/h}$	$k_{\min} \cdot 100 \text{ (m)}$	$k_{\min \text{ deseable}} \cdot 100 \text{ (m)}$
Acuerdo cóncavo	568	1374
Acuerdo convexo	303	1085

po de curva de perfil	Valor de K	Tipo de subentidad	Tabla de acuerdos verticales	Velocidad de proyecto	K mínimo para visibilidad de parada	K mínimo para visibilidad de adelantamiento	K mínimo para visibilidad de iluminación
1							
2	Convexo	25.000	Parábola simétrica	AASHTO 2011 Standard	40 km/h	4.000	23.000
3	Convexo	25.000	Parábola simétrica	AASHTO 2011 Standard	40 km/h	4.000	23.000
4	Cóncavo	25.000	Parábola simétrica	AASHTO 2011 Standard	40 km/h		9.000
5	Cóncavo	25.000	Parábola simétrica	AASHTO 2011 Standard	40 km/h		9.000
6	Cóncavo	25.000	Parábola simétrica	AASHTO 2011 Standard	40 km/h		9.000
7	Cóncavo	25.000	Parábola simétrica	AASHTO 2011 Standard	40 km/h		9.000
8	Cóncavo	25.000	Parábola simétrica	AASHTO 2011 Standard	40 km/h		9.000
9	Cóncavo	25.000	Parábola simétrica	AASHTO 2011 Standard	40 km/h		9.000

Figura 6.3.4. Valor de k aplicado a cada acuerdo vertical de la rasante y mínimos de la AASHTO 2011.

Entre las ventajas que tiene el diseño mediante esta metodología (ajuste y comprobación en base a normativa), se encuentra el hecho, en absoluto trivial, de que cada pequeña característica que se modifique en el proyecto conllevará la actualización automática de toda la información que derive de ella. Así se puede asegurar que siempre se estén respetando los criterios de diseño impuestos. En este caso, además de los indicados, se cumplen también, y gracias a la metodología aplicada y a la plantilla, criterios como la longitud mínima de curvas en acuerdos verticales o la coordinación del trazado en planta y alzado, por ejemplo, contenidos en los capítulos 5 y 6 de la Instrucción de Carreteras, respectivamente.

Junto con los perfiles, y siguiendo con el diseño en Civil 3D, hay que definir la guitarra de datos con la información relevante que se desee incluir. Cliqueando sobre el perfil con el botón izquierdo del ratón, se selecciona la opción “Propiedades de visualización del perfil” en el menú superior, escogiendo la pestaña

“Guitarras” de la ventana emergente. En ese espacio podrán seleccionarse los criterios usuales en el ámbito español, implementados gracias a la plantilla “Country kit”, los básicos de AutoCAD Civil 3D o definir otros nuevos. En la Figura 6.3.5 se recogen los conceptos incluidos en la guitarra. Es importante activar las etiquetas, establecer el espacio o hueco y, por supuesto, seleccionar a qué perfil (rasante, terreno...) se refieren.

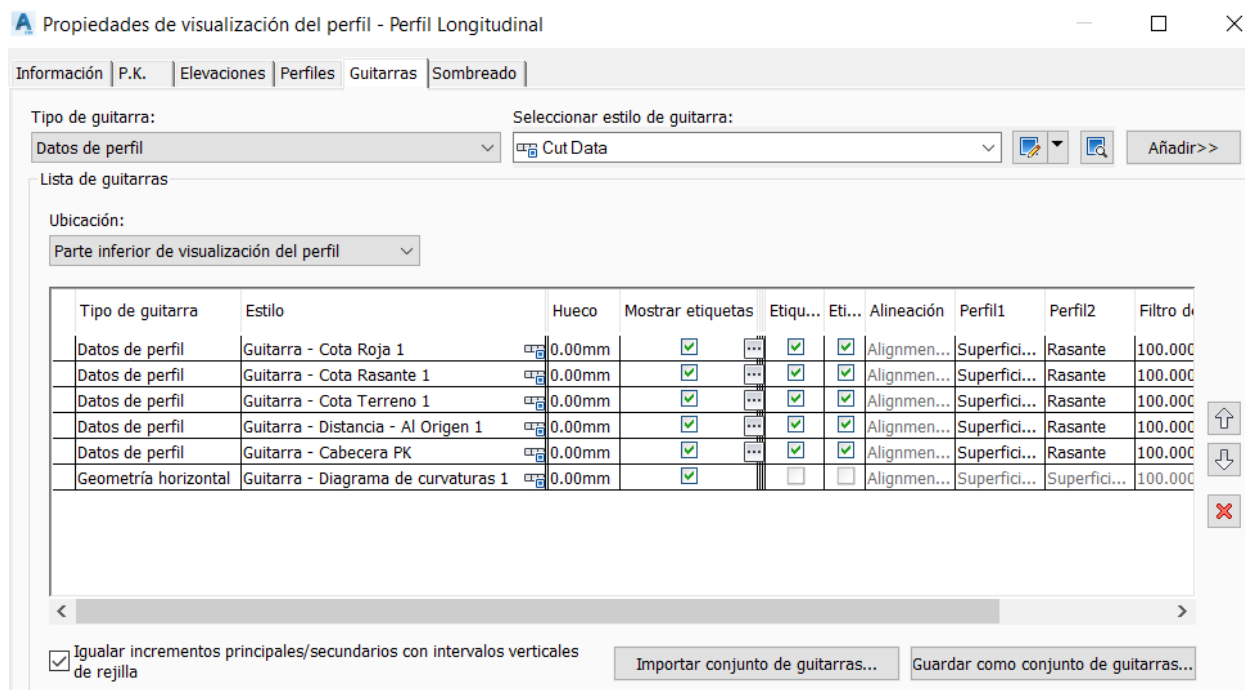


Figura 6.3.5. Conceptos incluidos en la guitarra de datos del perfil longitudinal.

A nivel cualitativo, se incluye en la Figura 3.6.6 una imagen del perfil longitudinal resultante (terreno y rasante). Las características del mismo (escala, rejilla, estilos, colores...) pueden editarse mediante la opción “Editar estilo de visualización del perfil”, que aparece en el menú superior al seleccionar el perfil con el botón izquierdo del ratón.

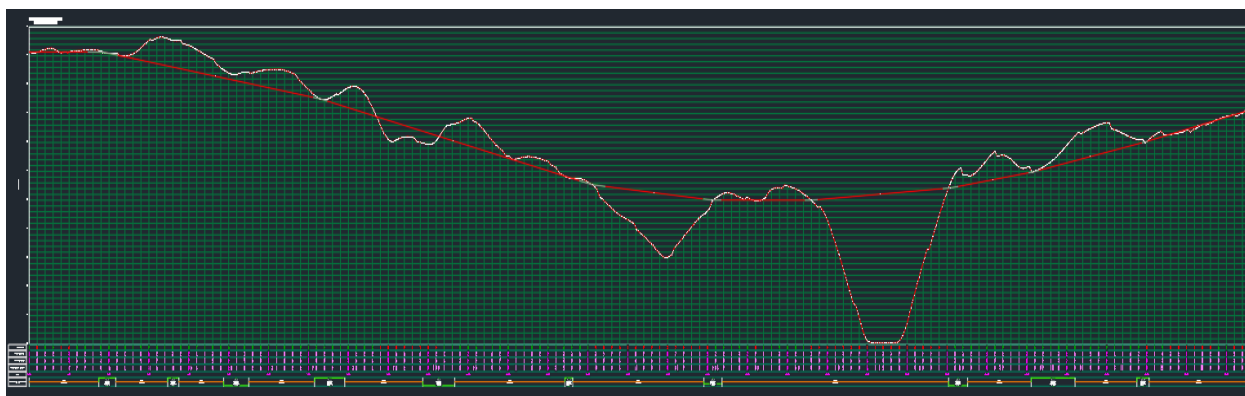


Figura 6.3.6. Perfil longitudinal, con guitarra, tras el primer ajuste de la rasante.

Una vez llevado a cabo el primer encaje de la rasante, se procede a un segundo ajuste del perfil longitudinal. Este caso consistirá en modificar las pendientes de cada tramo de la rasante en la tabla de datos, persiguiendo cifras redondas y cumpliendo con las especificaciones relativas a ellas de la Instrucción de Carreteras del Ministerio de Fomento.

El primer paso sería comprobar que las pendientes surgidas tras el primer ajuste de la rasante cumplen con la

normativa. Ello puede verse a simple vista en la tabla de datos, si bien esto no sería operativo si se están considerando numerosos tramos. Entonces, se añade esta comprobación a las antes mencionadas sobre los acuerdos verticales, lo cual está en la línea de la metodología de trabajo expuesta, ya que se realizará la comprobación de pendientes automáticamente tras cada nueva modificación, evitándose el tener que consultar constantemente la tabla de datos. Dado que se están incluyendo cada vez más conceptos en estas comprobaciones, se opta por definir un nuevo paquete de ellas, basadas, claro está, en la norma española, que contenga todas las que sean de utilidad en el presente proyecto.

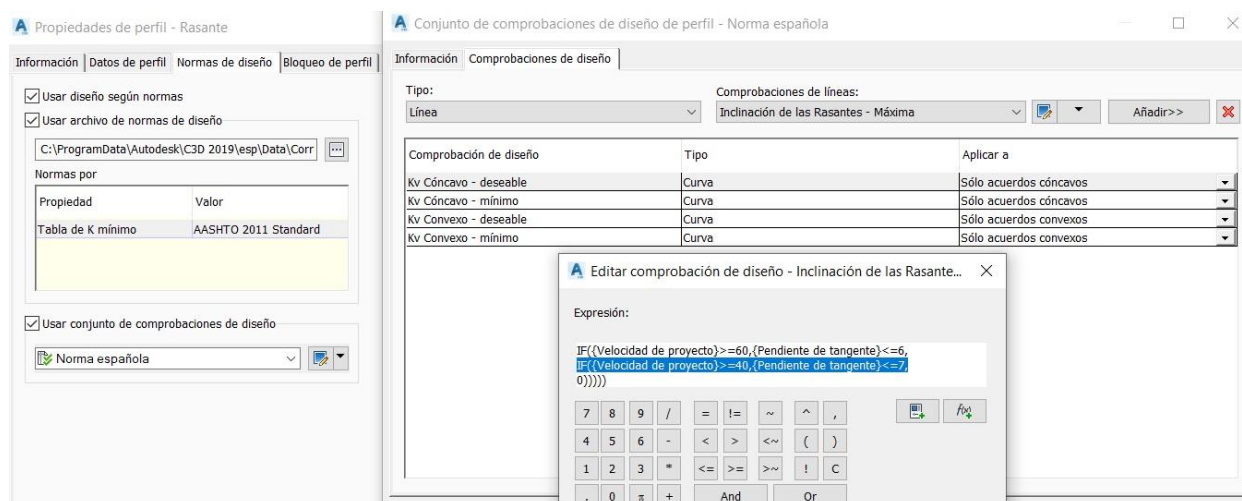


Figura 6.3.7. Comprobación de máxima pendiente para la rasante.

La tabla 5.2 de la Instrucción de Carreteras, mostrada en la Figura 6.3.8, recoge los valores porcentuales máximos para la inclinación de la rasante en función de la velocidad de proyecto, criterios que utiliza Civil 3D con la plantilla española (Figura 3.6.7).

TABLA 5.2.

VELOCIDAD DE PROYECTO (v_p) (km/h)	INCLINACIÓN MÁXIMA (%)	INCLINACIÓN EXCEPCIONAL (%)
100	4	5
90 y 80	5	7
70 y 60	6	8
50 y 40	7	10

Figura 6.3.8. Tabla sobre máxima inclinación de la rasante contenida en la Norma 3.1 IC Trazado (Ministerio de Fomento, 2016).

Hay que considerar, además, otros aspectos de la normativa española en cuanto a máxima longitud del tramo en pendiente (no superior 3000 metros) o la inclinación mínima de la rasante (0,5% en general, y 0,2% en casos excepcionales). El primero de los aspectos mencionados aparece implementado en la plantilla española, por lo que tan sólo hay que seleccionarlo. El segundo se cumple fácilmente considerándolo en el redondeo que se efectuará a continuación.

Así pues, tras establecer el marco en el que podrán oscilar las pendientes de la rasante, se procede a redondear las cifras del primer ajuste de forma manual en la tabla de datos (ver Figura 3.6.9).











	Bloquear	P.K. de VAV	Elevación de VAV	Inclinación de rasante T.E.	Inclinación de rasante T.S.	A (Cambio de pendiente)
1		0+000.00m	251.345m		0.50%	
2		0+184.20m	252.266m	0.50%	-3.00%	3.50%
3		0+729.05m	235.921m	-3.00%	-4.50%	1.50%
4		1+411.31m	205.219m	-4.50%	-1.50%	3.00%
5		1+710.89m	200.725m	-1.50%	-0.50%	1.00%
6		1+959.40m	199.483m	-0.50%	1.50%	2.00%
7		2+308.62m	204.721m	1.50%	2.50%	1.00%
8		2+516.65m	209.922m	2.50%	3.50%	1.00%
9		2+794.73m	219.654m	3.50%	4.50%	1.00%
10		3+054.75m	231.355m	4.50%		

Figura 6.3.9. Pendiente redondeada en los diferentes tramos de la rasante.

Restaría hacer el cálculo de los volúmenes de desmonte y terraplén, si bien carecería de sentido hacerlo en este punto al no haberse definido aún el viaducto. Se omitirá, por tanto, esta operación a la espera de resolver los tramos con puentes.

6.4 Sección transversal

Una vez caracterizado el perfil longitudinal de la obra viaria, se comienzan a abordar en este epígrafe los aspectos propios de la sección transversal.

El apartado 7.2 de la Instrucción de Carreteras del Ministerio de Fomento se ocupa de los carriles básicos de la sección transversal tipo. Así, para carreteras convencionales establece que tendrán un único carril para cada sentido de la circulación, cuyos elementos y sus correspondientes dimensiones se recogen en la Figura 6.4.1.

TABLA 7.1.

DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.

CLASE DE CARRETERA	VELOCIDAD DE PROYECTO (V _p) (km/h)	ANCHO (m)				NIVEL DE SERVICIO MÍNIMO EN LA HORA DE PROYECTO DEL AÑO HORIZONTE
		CARRILES	ARCENES		BERMAS (MÍNIMO)	
			INTERIOR / IZQUIERDO	EXTERIOR / DERECHO		
Autopista y autovía	140, 130 y 120	3,50	1,00 / 1,50	2,50	1,00	C
	110 y 100	3,50	1,00 / 1,50	2,50	1,00	D
	90 y 80	3,50	1,00	2,50	1,00	D
Carretera multicarril	100	3,50	1,00 / 1,50	2,50	1,00	D
	90 y 80	3,50	1,00	2,50	1,00	D
	70 y 60	3,50	0,50 / 1,00	1,50 / 2,50	1,00	E
	50 y 40	3,25 a 3,50	0,50 / 1,00	1,00 / 1,50	0,50	E
Carretera convencional	100	3,50	2,50		1,00	D
	90 y 80	3,50	1,50		1,00	D
	70 y 60	3,50	1,00 / 1,50		0,75	E
	50 y 40	3,00 a 3,50	0,50 / 1,00		0,50	E

Figura 6.4.1. Extracto de la tabla 7.1 de la Instrucción de Carreteras sobre las dimensiones de la sección transversal (Ministerio de Fomento, 2016).

Por tanto, dado que la velocidad de proyecto se ha fijado en 40 kilómetros por hora, se seleccionará un ancho de carril de 3 metros, con arcenes interior y exterior de 0,5 metros y bermas de igual dimensión. Además, las bermas se dispondrán con una inclinación transversal del 4% hacia el exterior de la plataforma.

Es necesario precisar en este punto que, al no ser objeto del presente trabajo, se han obviado los pertinentes estudios de tráfico que fijarían concretamente estos y otros parámetros. En su lugar, se realiza una instrospección somera en la normativa tratando de seleccionar coherentemente los parámetros con criterio ingenieril, suficiente para el alcance y la finalidad del proyecto que se trata.

Por otro lado, el apartado 7.3.3 de la Instrucción de Carreteras aborda el bombeo en rectas. Para carreteras convencionales con calzada única y doble sentido, establece que los carriles deben tener una inclinación mínima del 2% desde el centro de la calzada hacia afuera. Asimismo, los arcenes deben tener similar inclinación, en valor e inclinación, respecto a los carriles a los que están asociados.

Por su parte, el apartado 7.3.4 de la citada normativa indica que, en curvas circulares, la pendiente transversal de la calzada y el arcén coincidirá con el peralte. Sobre las bermas establece que tendrán una pendiente transversal hacia el exterior de la plataforma no inferior al 4%. Cuando el peralte supere el 4%, la berma en el lado interior de la curva tendrá una pendiente transversal igual al peralte, manteniéndose el 4% hacia el exterior de la plataforma en el lado exterior de la curva.

6.4.1 Sobreancho

Civil 3D asocia el sobreancho en las curvas a la alineación, por lo que a priori no es necesario tener definida propiamente la sección con sus elementos para asignar esta característica. Se tratará, entonces, de forma posterior.

En lo relativo a los sobreanchos en curvas, el programa permite calcularlos ajustándolos a normativa. Para ello se selecciona la opción “Crear desfase de alineación” en el desplegable “Alineación”, y se ajustan las características a las del proyecto.

En preciso señalar que los datos que aquí se introduzcan deben ser congruentes con el proyecto en adelante. El apartado 7.3.5 de la Instrucción de Carreteras del Ministerio de Fomento trata los sobreanchos en curvas, y establece que en curvas circulares de radio inferior a 250 metros (como es el caso) y para vehículos rígidos, el ancho de carril se calculará mediante la fórmula expresada en la Figura 6.4.2.

$$3,5 + \frac{l^2}{2 \cdot R}$$

Siendo:

R = Radio de la curva horizontal (m).

l = Longitud del vehículo patrón característico, medida entre su extremo delantero y el eje de las ruedas traseras (m). Salvo casos excepcionales convenientemente justificados, el valor de la longitud del vehículo patrón característico (l) se obtendrá de la Tabla A3.1 (Anexo 3).

Figura 6.4.2. Formulación para el cálculo del sobreancho para curvas circulares de radio menor de 250 metros y vehículos rígidos.

Dado que no es la finalidad del trabajo el hacer estudio alguno sobre el tráfico, necesario en un proyecto real llegados a este punto, se obviará presuponiendo que el vehículo más desfavorable que transitará por la carretera será un autobús rígido, cuyo patrón tiene una longitud total de 15 metros (según la tabla A3.1 de la Instrucción de Carreteras), una longitud hasta el eje trasero de 11,5 metros y una longitud entre ejes (“de batalla”) de 7,45 metros.

Dicho todo lo anterior, se seleccionará una anchura de carril de 3 metros y se diseñará con respecto a la norma española (ver Figura 6.4.3). A priori se optará por el paquete de comprobaciones estándar, que luego podrá ser modificado.

A Crear desfases de alineación ×

Alineación origen del desfase:
 Alignment - (3)

Plantilla de nombre del desfase:
 Sobreancho

Intervalo de P.K.
☒ Desde el principio ☒ Hasta el final
 0+000.00m 3+055.00m

Nº de desfases a la izquierda: 1
 Nº de desfases a la derecha: 1

Desfase incremental a la izquierda: 3.000m
 Desfase incremental a la derecha: 3.000m

General Criterios de ensanchamiento Crear perfil de desfase

☒ Añadir ensanchamiento en curvas

☒ Especificar ensanchamiento por medio de las normas de diseño
 Archivo de normas de diseño de la alineación de nivel superior:
 SP_Civil3D 2019 Norma Instruccion Carreteras.xml

Propiedad	Valor
Amplura de carril normal	3.000m
Número de carriles - Izquierda	1
Número de carriles - Derecha	1
Longitud de batalla	7.450m

☐ Especificar ensanchamiento manualmente
 Aumento de anchura: 1.000m Longitud de transición: 20.000m

☒ Usar conjunto de comprobaciones de diseño
 Estándar

Figura 6.4.3. Definición del sobreancho en curvas.

En la Figura 6.4.4 se observa el resultado de aplicar el sobreancho en el interior de la curva según la normativa española.

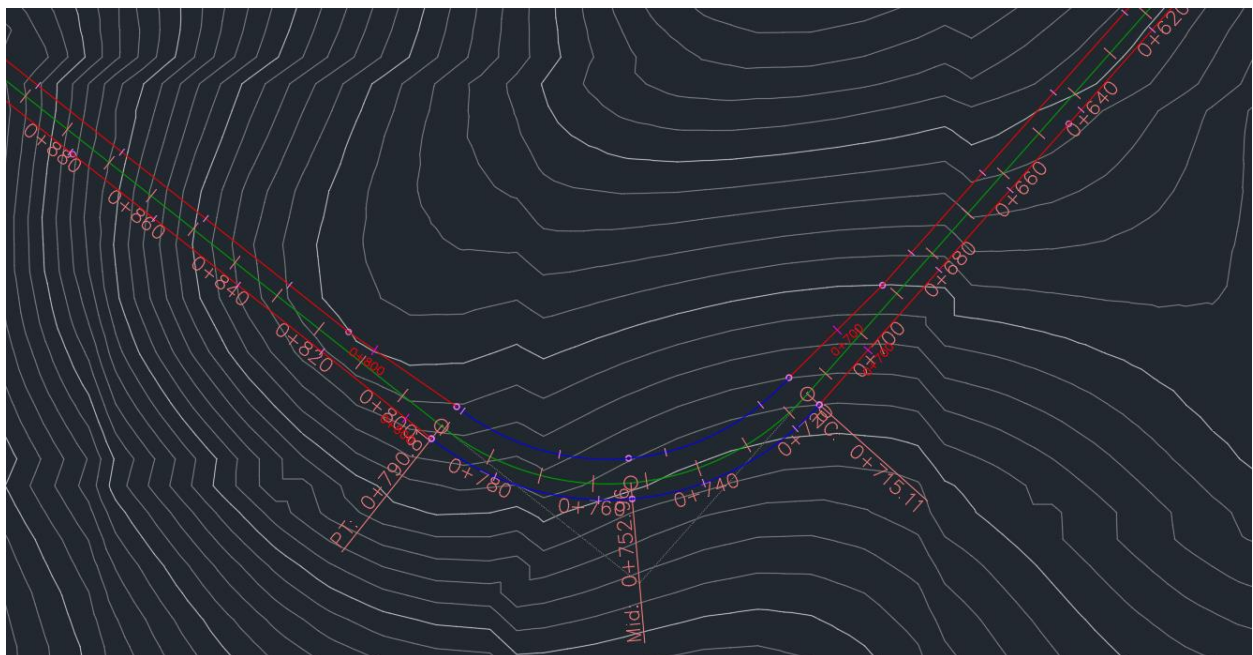


Figura 6.4.4. Sobreancho.

6.4.2 Peralte

Para el cálculo del peralte es necesario pulsar sobre la alineación y seleccionar la opción “Calcular peralte” en la barra superior de herramientas de Civil 3D. Se abre una ventana en la que habrá que seleccionar las diferentes características del cálculo, tales como tipo de carretera, carriles, arcnos y definición del peralte. Se tomará la opción de calzada única con bombeo y método de giro centrado en la línea base, carretera simétrica de un carril de 3 metros a cada lado con un 2% de pendiente transversal, arcén de 0,5 m y pendiente del 2%, y las características para la definición del peralte que se observan en la Figura 6.4.5. Todo ello con arreglo a lo contenido a la Instrucción de Carreteras, que establece para este supuesto un peralte del 7%.

De esta manera, el programa calcula el peralte de acuerdo a la normativa.

Calcular peralte - Tipo de carretera

Tipo de carretera

☒ Calzada única con bombeo

☐ Calzada única con pendiente transversal hacia un lado

☐ Separada, con bombeo y con mediana

☐ Calzada única con pendiente transversal hacia un lado y con mediana

Método de giro

Centrar línea base

Calcular peralte - Carriles

Tipo de carretera

Tipo: Sin dividir con bombeo

Giro: Centrar línea base

☒ Carretera simétrica

Número de carriles a la izquierda: 1

Número de carriles a la derecha: 1

Definición de peraltes

Anchura de carril normal: 3.000m

Talud de carril normal: -2.00%

Arcenes de borde exteriores

☒ Calcular

Anchura de arcén normal: 0.500m

Talud de arcén normal: -2.00%

Tratamiento de talud de arcén:

Borde bajo: Eliminación diferencia máx. pendiente

Borde alto: Igualar taludes de carriles

☐ Diferencia máxima de pendiente en arcén: 8.00%

Definición de peraltes

Archivo de normas de diseño: C:\ProgramData\Autodesk\C3D 2019\esp\Data\Corridor

Tabla de peraltes: GRUPO3 C. Convencional y Multicarril C-90 -> C-40 eMax 7%

Tabla de longitudes de transición: 2 Carriles C-90 -> C-40

Método de definición de peraltes: Carretera con Bombeo

Fórmula para transición del peralte

% en tangente para tangente-curva: 70.00%

% en espiral para espiral a curva: 100.00%

Suavizado de curva

☐ Aplicar suavizado de curva

Longitud de curva: 20.000m

☒ Resolver solapamiento automáticamente

Esta opción sólo se aplica a la alineación completa.

Figura 6.4.5. Cálculo del peralte.

6.4.3 Ensamblaje

Se procede, entonces, a definir la sección transversal de la vía objeto de diseño. Para ello, se hará uso de la herramienta “Crear ensamblaje” de la pestaña “Inicio” de Civil 3D. En la ventana emergente, se selecciona el tipo de ensamblaje que se desea (carretera de calzada única con bombeo, en este caso) y otras características del mismo.

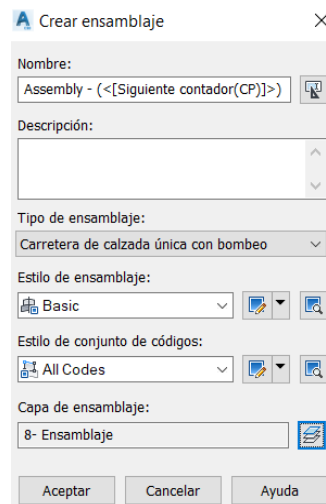


Figura 6.4.6. Creación de ensamblajes.

Clicando sobre el eje creado con el botón izquierdo, se pulsa sobre la opción “Paleta de herramientas” en el menú superior. Aparecerá la paleta de ensamblajes, donde se selecciona la opción “Carril con bombeo” de la pestaña “Carriles” y se especifican sus características de diseño, ya mencionadas anteriormente. También se colocan ensamblajes para arcenes (0,5 m y pendiente del 2%) y desmonte o terraplenado (con pendientes ambos de 1/1, dado que se supondrá una muy buena calidad del terreno en ausencia de estudios geotécnicos), ambos en sus pestañas correspondientes. Los datos de los ensamblajes pueden modificarse posteriormente sin perjuicio alguno, pues como se viene repitiendo a lo largo del texto, el diseño en general se encuentra parametrizado, actualizándose globalmente tras el cambio de forma inmediata.

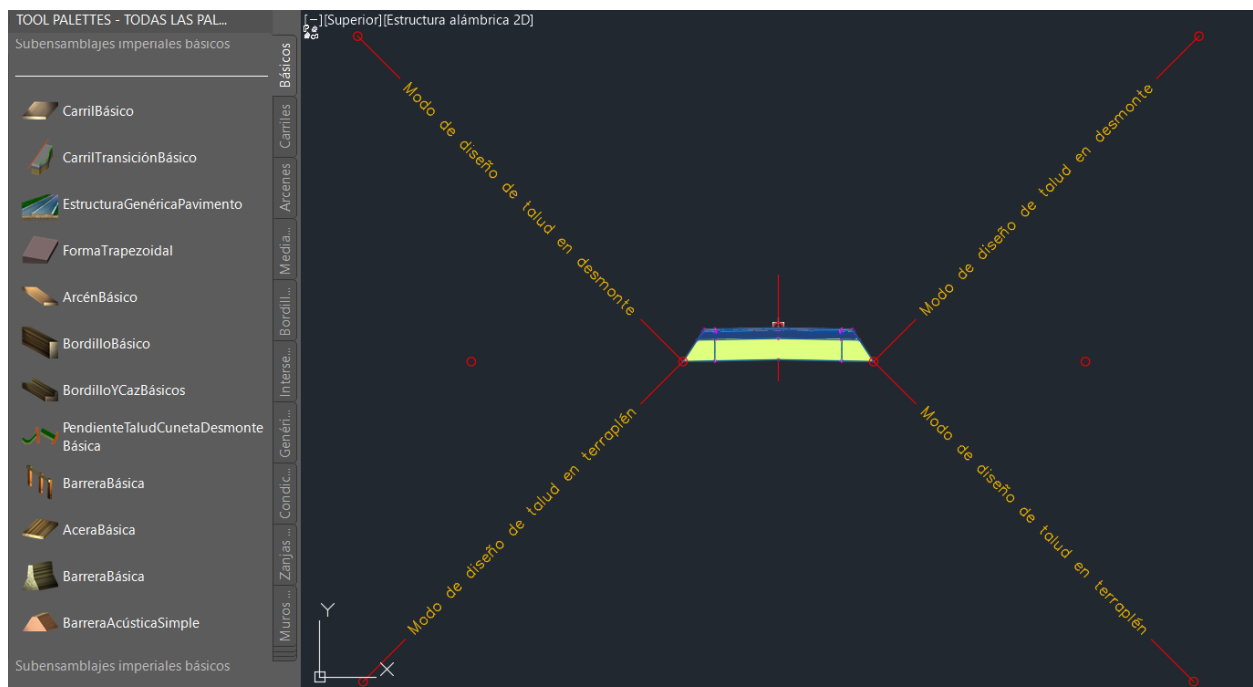


Figura 6.4.7. Paleta y composición del ensamblaje.

Pueden incluirse cuantos elementos se deseen en función de las exigencias del proyecto que se trate, así como con el nivel de detalle que se requiera. Baste colocar aquí los ya mencionados, sin cálculos previos que los definan con exactitud, como muestra de la metodología de trabajo.

Una vez compuesto el ensamblaje, se procede a la asignación con la alineación. Dada la longitud total de la

obra lineal, una frecuencia de 20 metros será suficientemente exhaustiva. Ello se lleva a cabo seleccionando la opción “Obra lineal” de la pestaña “Inicio” de Civil 3D. Aparecerá, entonces, una ventana emergente donde habrá que indicar, entre otros, el tipo de línea, la alineación, el ensamblaje a aplicar y la superficie objetivo.

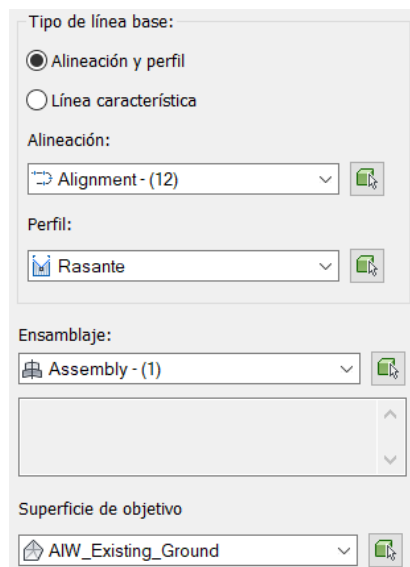


Figura 6.4.8. Obra lineal a partir de alineación, ensamblaje y superficie.

Se obtienen, entonces, el desmonte y terraplén que la rasante causaría en el terreno por donde transcurre la alineación. En función de los resultados obtenidos, este es un punto de parada para decidir modificar nuevamente el perfil y el trazado con el fin de reajustarlo y obtener una solución más adecuada.

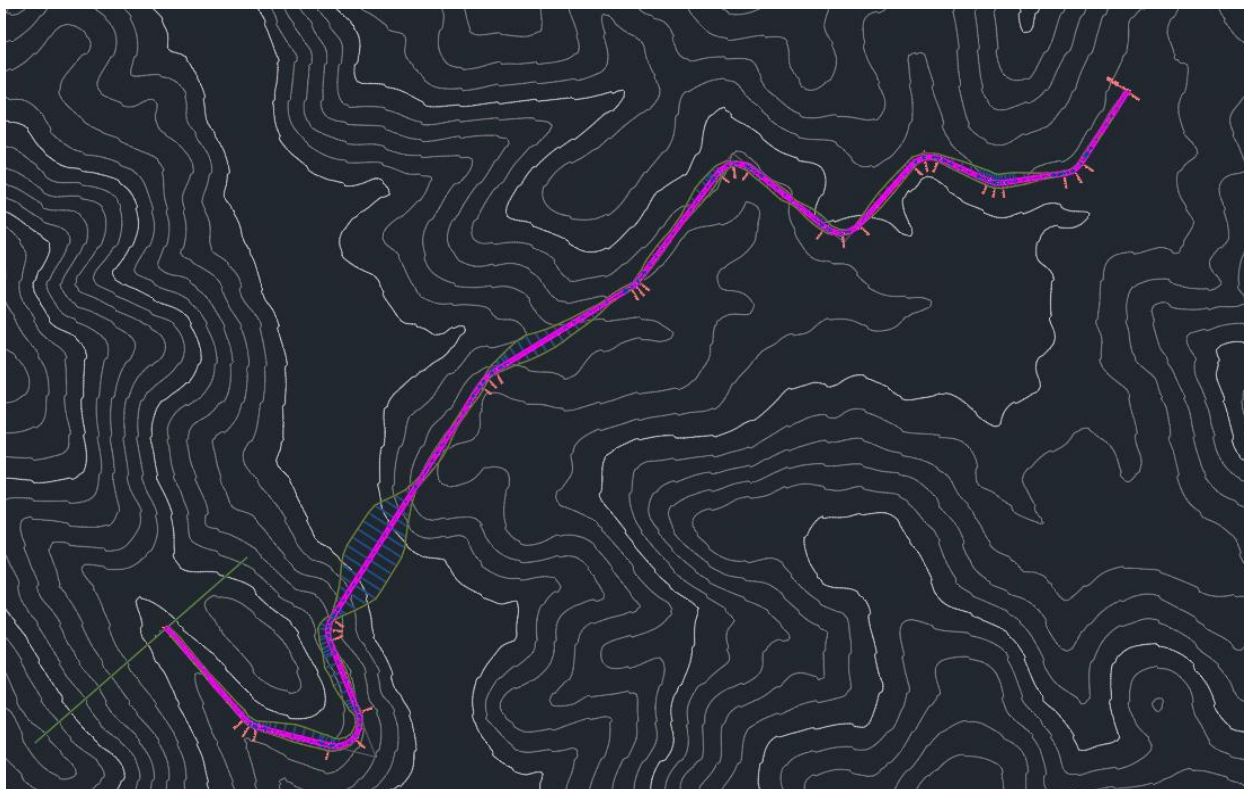


Figura 6.4.9. Terraplenado y desmonte en el primer encaje de la obra lineal.

Por otro lado, pueden observarse en dos grandes terraplenes que se corresponden, a la par que justifican, con las localizaciones de los dos tramos de viaducto, sobre los cuales aún no se ha tratado nada (ver Figura 6.4.9).

En este punto habría finalizado ya el diseño de la obra lineal tras su generación, si bien faltan por definir los viaductos, los cuales se abordarán a continuación. Como se acaba de mencionar, habría que reajustar los parámetros para optimizar el diseño antes de acometer el siguiente paso.

Finalmente, una vez ajustados los parámetros en función de los resultados obtenidos durante todo el proceso, se procede a crear una nueva superficie que englobe al terreno existente y a la obra lineal generada, hasta ahora desacopladas. Para ello, pulsando con el botón izquierdo sobre la obra lineal, se selecciona la opción “Superficies de obra lineal” en el menú superior. Se define una nueva superficie con el estado final y, posteriormente, se le añadirá la intersección de la superficie base y la generada con la obra lineal. Ello puede hacerse de forma sencilla pulsando con el botón izquierdo sobre la superfie creada (y vacía aún) en la pestaña “Prospector” del menú lateral de Civil 3D. A su vez, hay que entrar en “Definiciones” y se pulsa con el botón derecho sobre la opción “Ediciones”, señalando “Pegar superficie”. De entre las disponibles, se añadirán sólo las dos mencionadas en el listado del menú emergente. Para evitar la superposición visual de las curvas de nivel, se les asignará a las superficies antiguas el estilo “Oculto” para que no aparezcan en el visor.

Hay que señalar que, de ser necesario realizar nuevos cambios en los parámetros, estos no se traduciran en la nueva supercie creada con el estado final, por lo que habría que regenerarla de nuevo.

7 DISEÑO DEL VIADUCTO: INFRAWORKS

En este capítulo se tratará todo lo relativo al diseño de los tramos de viaducto, que se llevará a cabo con el programa InfraWorks de AutoDesk. Este software, como ya se dejó entrever en capítulos anteriores, presenta grandes ventajas a la hora de visibilizar y representar los resultados de cualquier actuación de obra civil, ubicándola geográficamente.

Junto con la gran potencia que presenta tal parametrización del dibujo, obtenida en Civil 3D, se podrá ahora visualizar de manera sencilla el proyecto sin perder las características anteriores, y lo que es más, continuar con el diseño sin pérdida alguna de información. Ello se pondrá de manifiesto a lo largo del capítulo, a medida que vaya avanzando el proceso en las siguientes páginas.

7.1 Datos de partida

Una vez generada la obra lineal con Civil 3D, quedó pendiente en el capítulo anterior el definir los tramos de viaducto. Se opta por este software, InfraWorks, entre otras posibilidades principalmente por dos razones. La primera de ellas es la sencillez con la que podrá realizarse este proceso, dado que como se vio al comienzo del estudio, el programa es altamente intuitivo. La segunda razón se basa en dar continuidad a la metodología planteada en todo el documento, trasvasando información entre los dos programas sin pérdida alguna, como se mencionaba en la introducción.

Así pues, se procede a exportar el proyecto en formato *.imx*. Para ello, se pulsa sobre la opción “Exportar IMX” en la pestaña “Salida”. Se hace de esta forma y no abriendo directamente el archivo *.dwg* en InfraWorks debido a que de esa forma sólo podríamos llevar superficies y alineaciones, pero no las características concretas de la vía que hemos diseñado en Civil 3D, cosa que mediante esta exportación sí se produciría.

Se abre, entonces, un nuevo modelo en InfraWorks y, tal y como se hizo en la primera parte, se carga la información desde Civil 3D mediante la opción que presenta el programa para importar elementos en el menú “Origen de datos”. Una vez InfraWorks conecte con el archivo *.imx* seleccionado, se abrirá una ventana emergente con todos los tipos de elementos que se podrán importar, que en el caso de este estudio serán superficies y carreteras.

7.2 Definición del viaducto

Una vez incluidas tanto la superficie como la carretera del proyecto en InfraWorks, se aborda la definición de los tramos de viaducto. Para ello, el primer requisito es convertir la obra lineal importada a una carretera compuesta. Esto se realiza pulsando con el botón derecho sobre la carretera y escogiendo la opción “Convertir a carretera compuesta” del menú emergente. De esta manera, el programa admitirá otro tipo de infraestructuras sobre la obra lineal, además de la propia carretera, permitiendo la edición y la adición de las mismas.

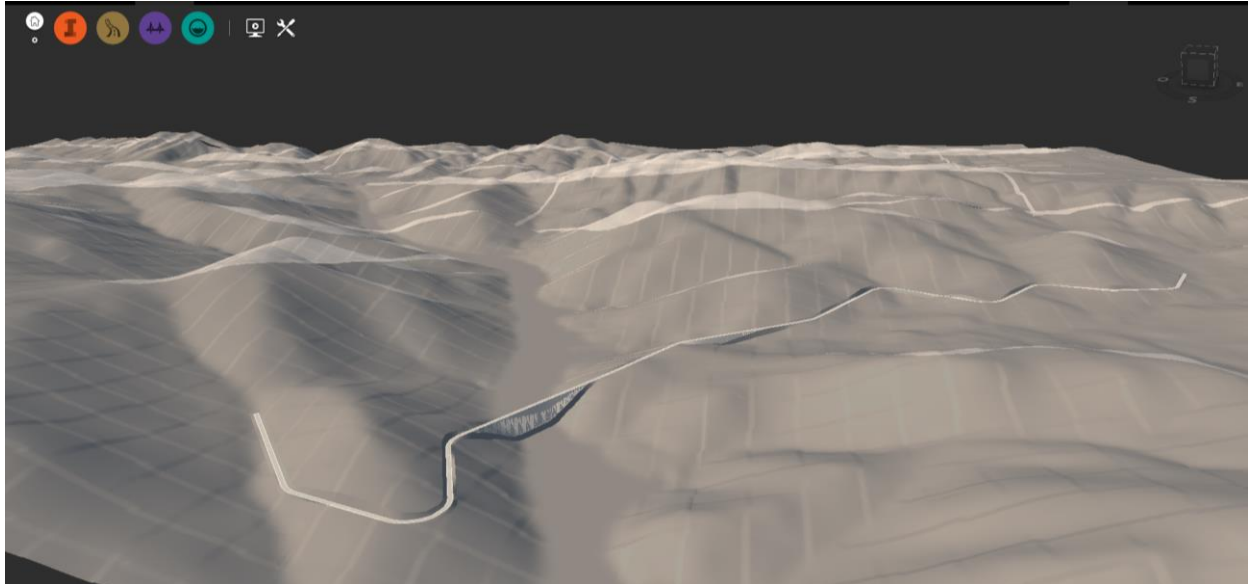


Figura 7.2.1. Carretera y superficie en InfraWorks importadas desde Civil 3D.

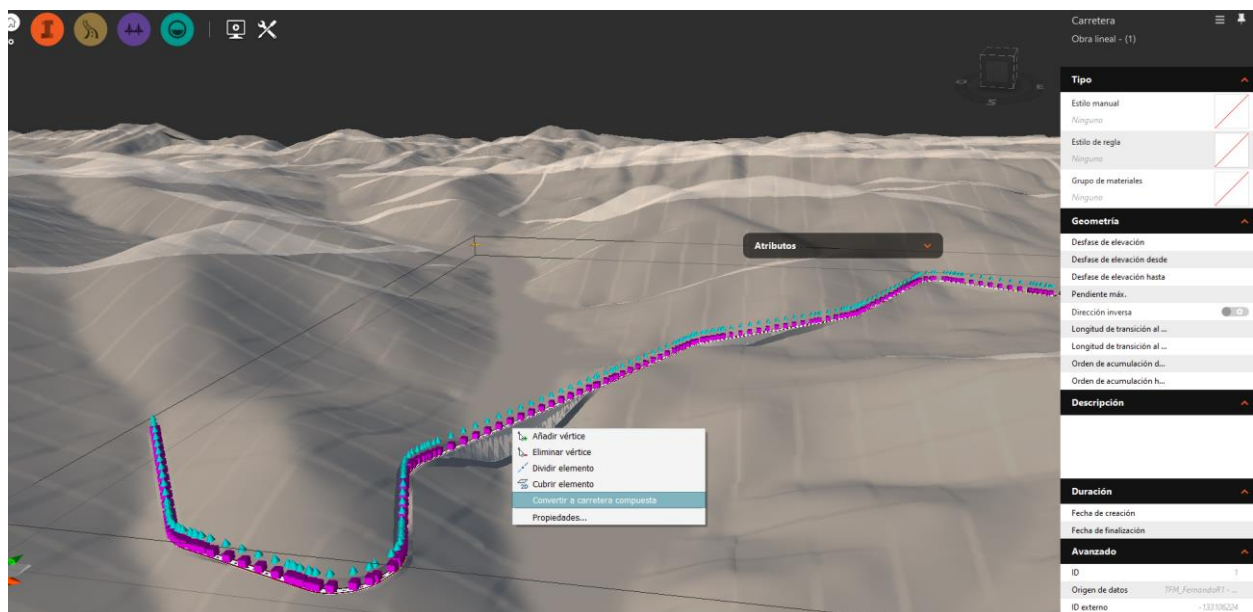


Figura 7.2.2. Conversión a carretera compuesta.

El proceso mediante el que se define el puente para cada tramo de viaducto es sencillo. Basta pulsar con el botón derecho sobre la carretera compuesta y seleccionar la opción “Añadir estructura” del menú emergente, abriéndose un desplegable en el que se podrá escoger entre puente y túnel.

Tras seleccionar la opción “Puente”, el programa solicitará que se indique el punto inicial de la carretera donde

se desee establecer el viaducto. Posteriormente podrá indicarse el punto final o precisar la longitud que tendrá la infraestructura, teniendo en cuenta que esta será medida en el sentido de la vía desde el punto inicial. Como viene siendo una constante en todo el proceso, las características de la infraestructura se encuentran parametrizadas, por lo que podrán modificarse a posteriori sin mayor dificultad ni perjuicio a la obsolescencia del resto de partes del proyecto.

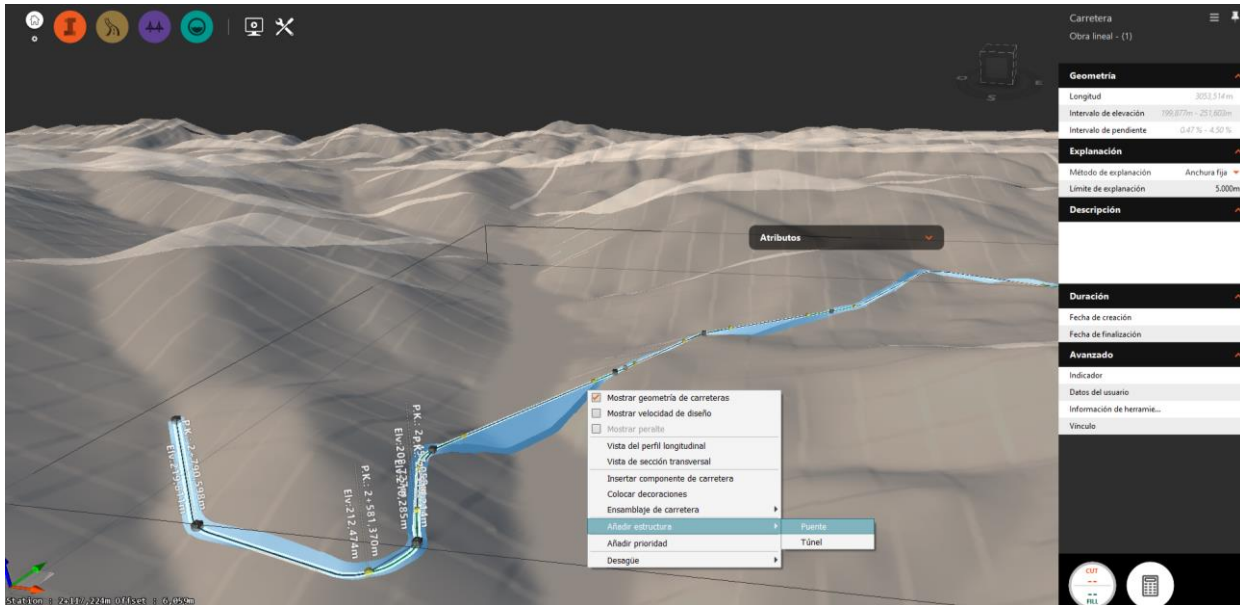


Figura 7.2.3. Creación de los tramos de viaducto.

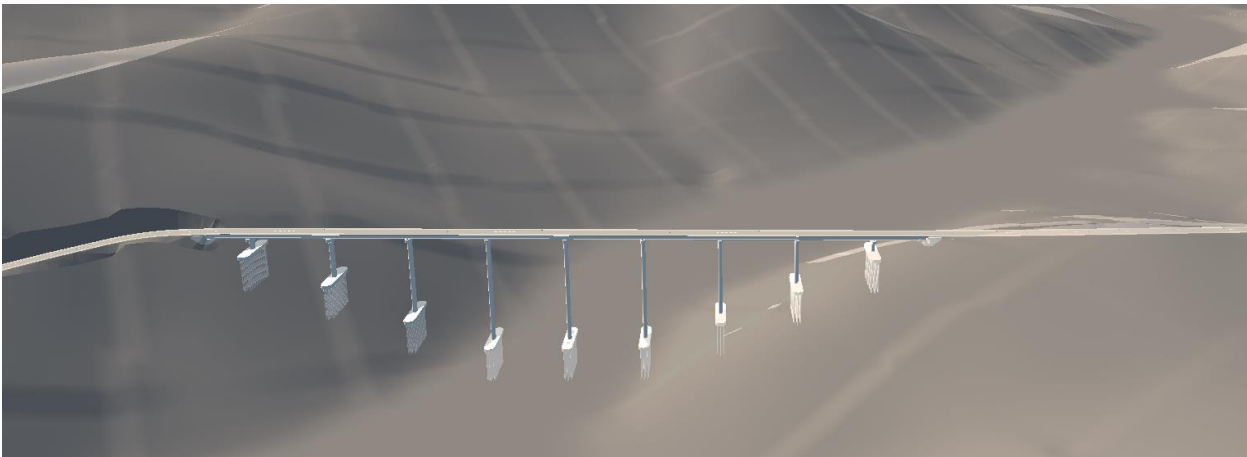


Figura 7.2.4. Uno de los dos puentes del proyecto.

En la Figura 7.2.4 puede observarse uno de los dos tramos de viaducto que se han definido en el proyecto. Se pueden editar todas sus dimensiones, materiales y demás características, si bien no se realizará en el presente estudio al escapar de su alcance. Si simplemente se desea mostrar la versatilidad y el gran potencial que presenta esta herramienta de cara al diseño simple de infraestructuras.

7.3 Viaductos en Civil 3D

Una vez definido el viaducto en InfraWorks, y de acuerdo con la metodología a estudio, el proyecto se lleva de vuelta a Civil 3D para culminar el proceso con la salida de planos. Ello puede hacerse de forma similar al trasvase de datos mostrado en la primera primera etapa, abriendo desde Civil 3D el modelo *.sqlite* de

InfraWorks en la correspondiente pestaña y seleccionando los elementos que se desean incorporar (no es necesario implementar de nuevo la superficie existente), es decir, los puentes y la superficie propuesta generada. También puede llevarse a cabo este intercambio de datos exportando el modelo de InfraWorks a formato *.imx* y abriéndolo posteriormente desde Civil 3D, si bien en esta ocasión se importará el modelo completo y no podrá refinarse en Civil 3D el conjunto de elementos a añadir.

Como anticipo de conclusiones posteriores, justamente en este paso ya puede notarse una pequeña anomalía en el proceso BIM referente al intercambio de datos entre programas. En el apartado 7.1 se vio que efectivamente era necesario llevar los datos de Civil 3D a InfraWorks en formato *.imx*, ya que en formato *.dwg* (como se hizo en la primera sección) sólo se cargan superficies y alineaciones, quedando gran cantidad de datos sin trasvasar. Sin embargo, en esta ocasión no influye el tipo de formato, *.imx* o *.sqlite*, más que para refinar la información que se carga en Civil 3D. Este hecho, a priori, no tiene gran relevancia, pero sí llama la atención y pone de manifiesto que, pese a encontrarnos en un entorno BIM, la intercambiabilidad de datos puede tener restricciones, lo cual se pondrá de manifiesto a continuación.

Así, se procede a la incorporación de los elementos de interés a Civil 3D desde InfraWorks. Aquí se evidencia, ya de forma clara, el primer error en el traspaso de datos: los puentes, a excepción de pilares, cimentación y estribos, aparecen como elementos de tipo malla y no como sólidos tridimensionales. Esto se debe a las limitaciones de ambos programas en el trasvase de datos a las que se hace referencia. En el historial de la ventana de comandos, durante la importación, se refleja que no se ha realizado la conversión debido a que las mallas estaban abiertas. En la Autodesk Knowledge Network viene reflejado este fallo indicando escuetamente como causas las limitaciones de las versiones de los programas. Autodesk Support propone, además, la edición manual de las mallas en el módulo de Modelado 3D para solucionar los problemas.



Figura 7.3.1. Viga de uno de los viaductos no convertida en sólido tridimensional y con multitud de caras.

La inviabilidad de la solución propuesta por Autodesk es inmediata. Editar individualmente cada elemento de tipo malla para su conversión a sólido requiere un coste altísimo, aún más si se tienen varios viaductos de cientos de metros, como es el caso. Además, esta solución contraviene la metodología defendida durante todo el documento, por lo que ello bastaría para desecharla. En todo caso, en un intento de convertir a sólido las mallas cerrando sus huecos, los elementos no pueden convertirse al contener pliegues o intersecciones, por lo que la propuesta de Autodesk no satisface la resolución sencilla del problema.

Todo ello conlleva que la metodología tratada, que había funcionado hasta tratar los viaductos, no es operativa en un proyecto de estas características al llegar al momento de abordar los puentes. Esto quiere decir que, de no contener viaductos el proyecto, los errores debidos a las limitaciones de los programas no se habrían puesto de manifiesto y habría podido continuarse el proceso con la mayor normalidad.

La incidencia que tiene el que parte de los elementos de los puentes de InfraWorks no se conviertan a sólido una vez traspasada la información a Civil 3D se concentra, principalmente, en los planos. Al no ser objetos

sólidos tridimensionales, las vigas, tableros y apoyos de los puentes no pueden proyectarse en las vistas de las secciones transversales ni del perfil longitudinal de la obra, por lo que los planos no quedarían completos.

Esta problemática se habría evitado con el uso de Bridge Modeler, el módulo de puentes de Autodesk (sin versiones gratuitas), que diseña dentro de Civil 3D la sección y los elementos del puente, pero ello quedaría por completo fuera de la metodología seguida en el documento. Un punto intermedio habría sido el aplicar un ensamblaje de tipo puente a los tramos correspondientes de la obra lineal antes de llevar el proyecto desde Civil 3D a InfraWorks, pero, aunque no se estaría contraviniendo del todo la metodología, encarecería los costes al perder la sencillez potencial que debería tener. Además, en este último caso, no se estarían implementando ni los soportes del puente ni los estribos, así como tampoco los conos de derrame, siendo necesario indicar expresamente un gap bajo la obra lineal en el tramo del viaducto para que Civil 3D no coloque un soporte de terreno bajo él. Se pierden, por tanto, las características intuitivas y sencillas en el diseño, debilitando globalmente la metodología.

La imposibilidad de convertir a sólidos tridimensionales todos los elementos del puente no es la única deficiencia encontrada tras el traspaso de datos desde InfraWorks a Civil 3D, aunque sí la más perjudicial. También se ponen de manifiesto otros fallos como la pérdida de información en la sección transversal.

Al importar desde InfraWorks la obra lineal junto con los puentes y la superficie generada, aparece un nuevo ensamblaje asociado a la primera, que en el caso que se trata nada tiene que ver con la diseñada. La sección transversal ha perdido sus características iniciales (capas, inclinación, grosores...), ya que al llevarla a InfraWorks, el programa ha traducido la sección de Civil 3D y la ha adaptado a una propia, teniendo un resultado superficial similar, útil de cara a la visualización, pero con una gran pérdida de información interna que inhabilita para ediciones posteriores en mayor profundidad, como se ha podido comprobar.

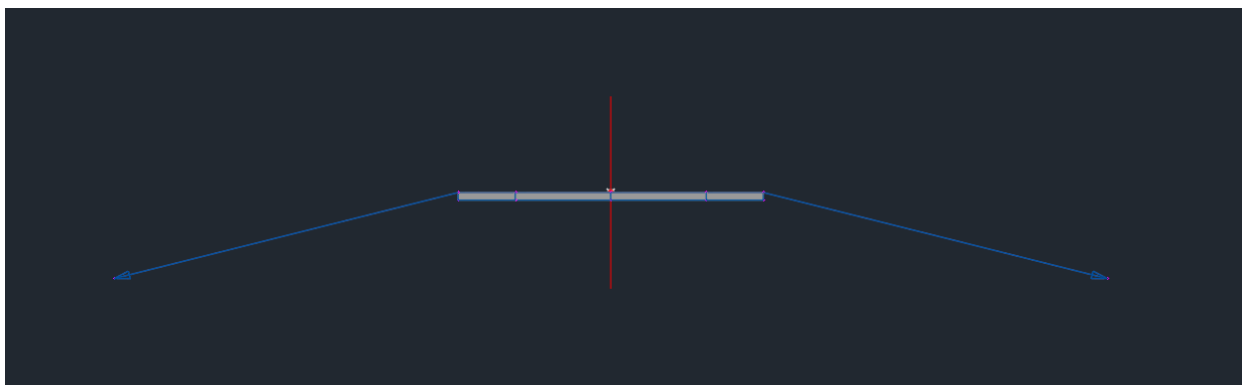


Figura 7.3.2. Ensamblaje de la obra lineal del proyecto importada desde InfraWorks.

A la vista de todo lo anterior, se puede concluir el trasvase del proyecto desde Civil 3D a InfraWorks sólo debe hacerse cuando esté totalmente definido en el primero, ya que en el intercambio se pierde información del ensamblaje de la obra lineal.

Entonces, una vez que se ha comprobado que la metodología tal y como se ha presentado no puede llevarse a cabo, en el estudio que se realiza se actuará de la siguiente forma para solventar la problemática encontrada. En primer lugar, tras la instalación de los viaductos en InfraWorks, la edición en este programa se dará por finalizada y lista para la presentación final con el recorrido virtual. En lo referente a Civil 3D, se incorporarán los puentes desde InfraWorks y se eliminarán los elementos mallados que no se han convertido en sólidos tridimensionales. Dicho en otras palabras, se aprovecharán los pilares, los estribos y la cimentación, que no están disponibles con los ensamblajes de Civil 3D. Conscientes de sus limitaciones, se establecerá una sección del puente con los ensamblajes de Civil 3D y se impondrá el gap correspondiente para que no contabilice terreno bajo ellas en el cálculo de volúmenes. Con todo, se procederá al montaje de vistas y perfiles y a la salida del proyecto mediante planos.

Pasando a la descripción sucinta de los procedimientos involucrados en la implementación de las medidas mencionadas en el párrafo anterior, se hará uso de la herramienta “Crear ensamblaje” de la pestaña “Inicio” de Civil 3D para establecer la sección de los tramos de viaducto. En la ventana emergente, se selecciona el tipo de

ensamblaje que se desea (“Otro”, al no aparecer la opción adecuada) y otras características del mismo, tales como estilo, capa o etiquetas. Picando sobre el eje creado con el botón izquierdo, se pulsa sobre la opción “Paleta de herramientas” en el menú superior. Aparecerá la paleta de ensamblajes, donde se selecciona la opción “Puente de vigas 1” de la pestaña “Puentes” y se especifican sus dimensiones. Simplemente se ajustará el ancho de acuerdo con el de la vía, y el resto de parámetros de la sección de la viga se establecerá con criterio ingenieril de forma que haya coherencia en el resultado (calcular una sección analíticamente para el objeto que se trata escapa del alcance del trabajo). Asimismo, se disponen ensamblajes para una capa de rodadura y arcenes, de forma adicional y con las mismas características que las de la obra lineal ya generada, sobre la sección de la viga del viaducto.

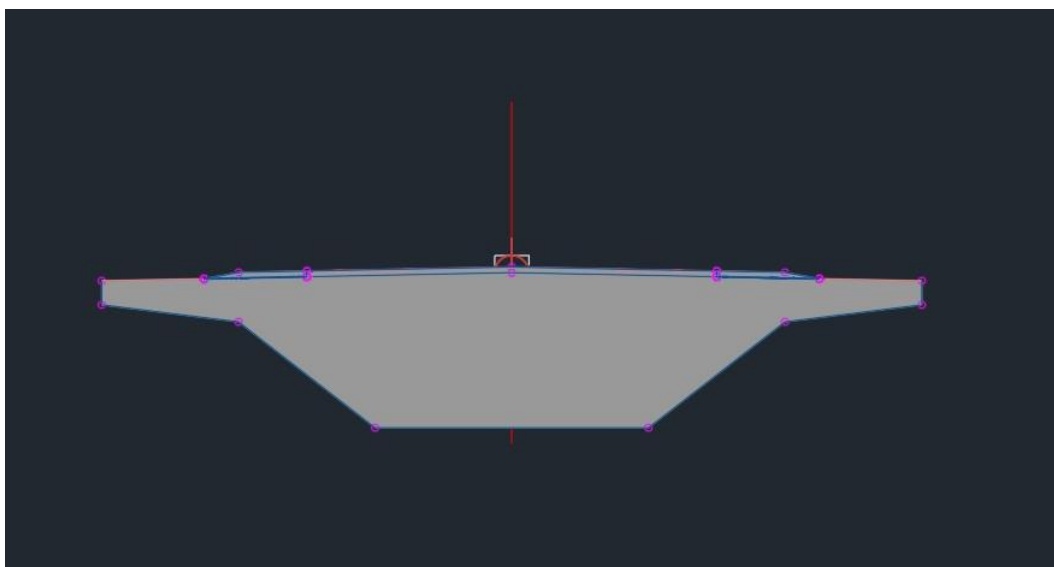


Figura 7.3.3. Ensamblaje tipo para los tramos de viaducto.

Tal y como se viene indicando en epígrafes anteriores, lo que se pretende es mostrar la funcionalidad de la herramienta, Civil 3D en este caso, por lo que no es necesario centrarse en cálculos rigurosos y sí, más bien, en cómo diseñar y modificar las propiedades del diseño de manera que este recorrido que se realiza sea de utilidad a la hora de afrontar un proyecto real.

A la hora de asignar la sección del viaducto a la obra lineal, será necesario modificarla. Concretamente, hay que dividirla para, así, establecer los diferentes tramos de carretera o viaducto. Ello se lleva a cabo seleccionándola y pinchando con el botón izquierdo del ratón sobre la opción “Propiedades de la obra lineal” en el menú superior. Posteriormente, se selecciona la pestaña “Parámetros” en la ventana emergente y allí se crean los tramos en cuestión pulsando con el botón derecho del ratón sobre la línea base existente y seleccionando “Añadir región” en el menú que aparece. Dichas regiones habrán de ser editadas, especificando su nombre, el tipo de ensamblaje (según corresponda a carretera o a viaducto), los puntos kilométricos de inicio y final del tramo y la frecuencia (número de veces que se utiliza la sección para formar la obra lineal en ámbito longitudinal). Pueden editarse otras características de la obra lineal, como ya se trató en el epígrafe correspondiente, las cuales están distribuidas en las diferentes pestañas. Una vez modificada la obra lineal, se regenera, pudiéndose notar que se actualizan cuantos elementos del diseño dependen de ella, cualidad que se viene abordando a lo largo de todo el documento.

En lo referente al gap para el cálculo de volúmenes, se procede de la siguiente forma. Una vez se hayan creado las líneas de muestreo para los perfiles transversales de la obra lineal (cuya definición se tratará en el capítulo siguiente), se pulsa con el botón derecho del ratón sobre las que pertenecen a los tramos del viaducto y se selecciona la opción “Propiedades de grupo de línea de muestreo”. En la pestaña “Lista de materiales” del menú emergente se puede definir el criterio para el cálculo en cuestión mediante el botón “Añadir material nuevo” con las características que correspondan (desmonte, terraplén, superficies...). En concreto, la última de las opciones, “Hueco”, permitirá añadir el gap entre puntos kilométricos determinados (los que corresponden al inicio y al final de los tramos de viaducto en el caso en cuestión) para que no contabilice material alguno

bajo esas regiones de la obra lineal y así no se distorsione el cálculo de volúmenes.

Una vez especificadas todas estas medidas que palíen, de alguna forma, la limitación del software que impidió traer correctamente las secciones de la obra lineal y los viaductos desde InfraWorks, ya estaría completa y redefinida la obra lineal con, aproximadamente, un mínimo de sus características exigibles, desde el plano cualitativo. Sin necesidad de ahondar más en las circunstancias de esto último, se considera ya todo a punto para proceder a la salida gráfica del modelo mediante planos, lo cual, entre otras cuestiones, se abordará en el capítulo siguiente.

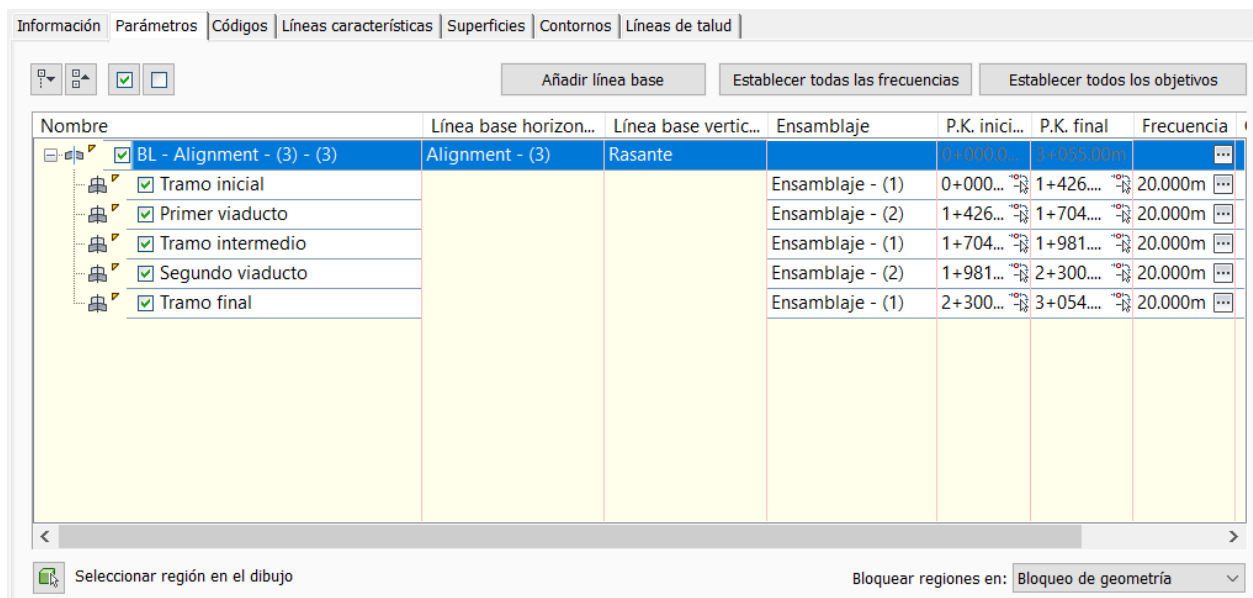


Figura 7.3.4. Definición de los diferentes tramos (según su sección) de la obra lineal.

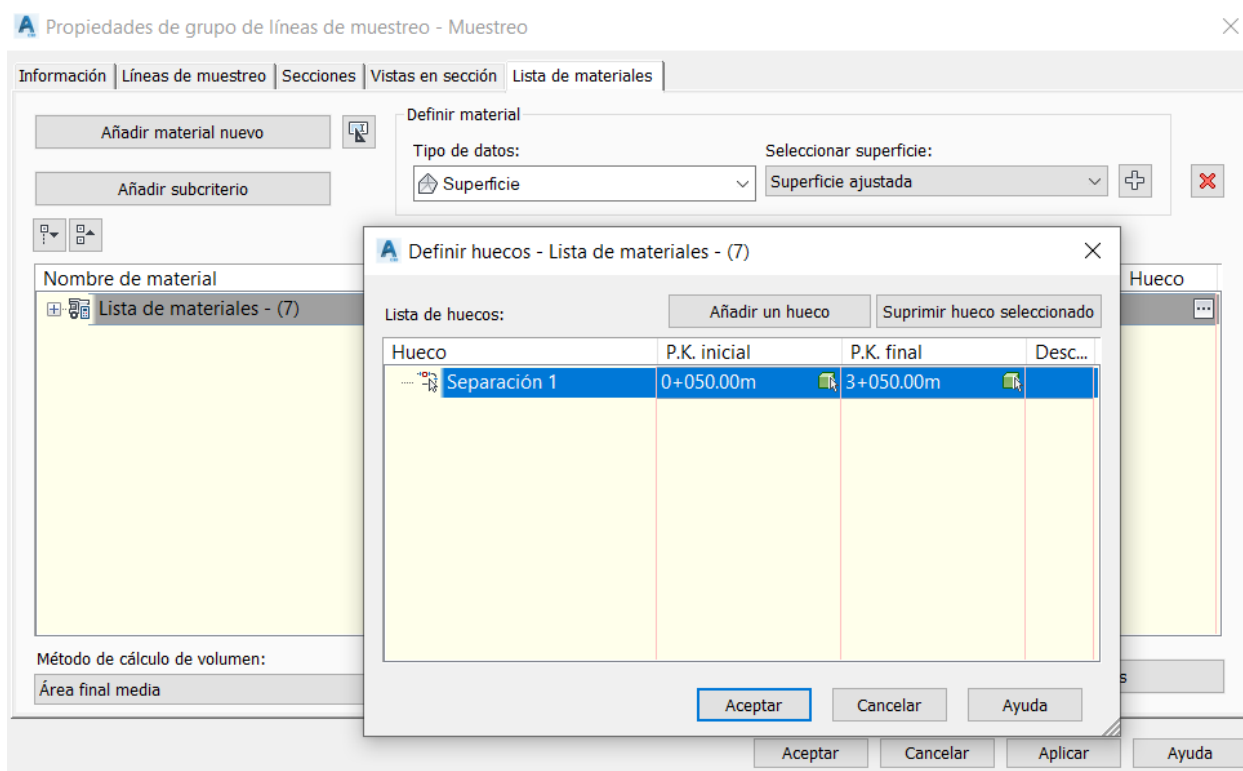


Figura 7.3.5. Menú donde se establece el gap para el cálculo de volúmenes.

8 SALIDA GRÁFICA DEL MODELO

En el presente apartado se abordará cuanto concierne a la salida gráfica del modelo de la obra lineal, carretera con viaducto, que se ha generado en los capítulos anteriores con la casuística surgida a lo largo de los mismos. De esta forma, se mostrará cómo obtener la documentación gráfica básica de este tipo de proyecto de obra civil, o lo que es lo mismo, los planos. Civil 3D tiene implementadas algunas funcionalidades concretas para ello, de manera que puedan facilitar la obtención de esta información.

A modo de complemento innovador respecto a la representación clásica de los proyectos en planos, se explicará cómo obtener un audiovisual que recoja un itinerario virtual, en primera persona, que posibilite recorrer el resultado esperado de la obra lineal. Esto se lleva a cabo mediante el uso de Infraworks, obteniéndose un producto que, como se verá, es altamente llamativo.

En los siguientes epígrafes, por tanto, se dará detalle sobre los procedimientos concretos a seguir para conseguir las mencionadas representaciones con ambos softwares propuestos.

8.1 Planos en Civil 3D

Los planos constituyen una parte fundamental e indispensable de los proyectos, no sólo porque describen gráficamente todos los elementos de la obra proyectada y su proceso constructivo, sino porque también forman parte de los documentos del contrato, donde se muestran con precisión el diseño, la ubicación, las dimensiones y las relaciones de dichos elementos con el resto del proyecto. Concretamente, debe quedar reflejado en ellos todo lo que permita justificar gráficamente cada uno de los criterios y condicionantes de la obra, así como localizarlos y explicarlos. Así, deben servir también para medir la obra.

De esta manera se podrían seguir dedicando líneas y líneas a glosar la funcionalidad, o más bien la necesidad, de hacer uso de los planos en los proyectos. Se ha creído oportuno mencionar aquí someramente su relevancia para introducir el concepto de que todo el trabajo que se ha realizado hasta ahora, la modelización, conduce a la representación gráfica, sin la que las conclusiones obtenidas de los cálculos y la aplicación de criterios de diseño no podrían llevarse a efecto. Dicho en otras palabras, si no hay planos, no se puede construir. Es cierto que los planos ocultan, e incluso pueden llegar a desdibujar la magnitud del trabajo realizado durante el diseño del modelo, si bien el modelo en sí no permite, al menos actualmente y con la tipología de obra que se está analizando, llevar a la práctica las ideas teóricas que contiene.

En definitiva, los planos serán la interfaz eficaz mediante la que el modelo se comunica con quienes van a

abordar la realización del proyecto. Como se anticipaba, Civil 3D tiene implementadas algunas funcionalidades para organizar esta tarea.

En primer lugar hay que dejar constancia de que, como viene siendo tónica habitual en este trabajo a cuenta de sus características, no se elaborarán todos los planos que la normativa española exige para un proyecto de carretera, dado que se han obviado cálculos y se han establecido suposiciones (con criterio ingenieril) para centrar la atención sólo en el ámbito del diseño. Por ello, se ha pasado por alto gran cantidad de información que, consecuentemente, no podrá quedar reflejada en los planos.

Así pues, lo que se verá es cómo realizar planos en Civil 3D de forma general, y para ello se usarán los característicos de las obras lineales: plano de planta y perfil longitudinal y plano de perfiles transversales. También se incluirá un plano de detalle constructivo de las secciones transversales que se han aplicado y, dado su carácter esencial, el plano de situación geográfica. Este último, junto con el ortofotoplano de la traza, servirán para mostrar también la sencillez de utilizar información externa a Civil 3D como fondo del análisis llevado a cabo. En la Tabla 8.1.1. se recoge la relación de planos que se incluyen en el trabajo, con sus respectivas escalas.

Tabla 8.1.1. Planos cuya elaboración se aborda en el estudio.

Plano	Escala
Situación	1/50000
Ortofotoplanos con la traza	1/5000
Planta y perfil longitudinal del tronco	1/1000 1/1250 H, 1/500 V
Secciones transversales tipo	1/100
Perfiles transversales	1/1000

8.1.1 Plantilla y cajetín

Antes de atacar la elaboración en sí de los planos, es necesario definir el espacio de trabajo que servirá de base para los planos. Así, se abre un nuevo dibujo (independiente) en Civil 3D, y una vez en él, se creará una pestaña de tipo “Presentación” en el menú inferior.

El primer paso es establecer las características del espacio de trabajo, o lo que es lo mismo, el formato de papel a utilizar. Esto puede seleccionarse de manera sencilla en el menú “Configuración de página”, que emerge tras pulsar la opción oportuna al clicar con el botón derecho del ratón sobre la pestaña de la presentación.

Una vez fijado el formato y sus características, hay que diseñar el cajetín: elemento o zona del plano que recoge la información identitaria del plano. Esto es, el título del plano, la numeración, el/los autor/es, la escala, el título del proyecto, el número de revisión, la fecha, los organismos o empresas involucrados, etc. En este tema, hay cierta libertad a la hora de diseñarlo, siempre y cuando recoja la información indispensable para caracterizar al plano. De hecho, hay una extensa variedad de los mismos en función del tipo de proyecto que se trate, y sobre todo, del organismo o empresa en sí que lo elabore.

 UNIVERSIDAD DE SEVILLA E.T.S. de INGENIERÍA MUICCP			TRABAJO FIN DE MÁSTER Autor: Fernando Rodríguez Fernández-Palacios	Título: DISÑO GEOMÉTRICO DE CARPETERA CON VIADUCTO Emplazamiento: Embalse de La Minilla, provincia de Sevilla	Escala: 1/1000	Plano: PERFIL TRANSVERSAL	n° 00
					Octubre 2019	Formato: original A2 UNE	P00 Hoja 2 de 8

Figura 8.1.1. Modelo de cajetín de los planos.

Restaría, entonces, establecer la/s ventana/s gráfica/s mediante la/s que se mostrarán aquellas partes del modelo que se traten en concreto. El concepto de la representación en Civil 3D, por tanto, se basa en crear una presentación, u hoja de plano, en la que se abre literalmente una ventana al modelo: dentro de ella lo que hay reflejado es una zona específica de la pestaña “Modelo” donde se ha diseñado obra lineal con los objetos reales que allí se encuentran. De ello se induce que si se desea que algún elemento quede representado en la ventana gráfica de la presentación, este debe existir previamente en la pestaña del modelo.

Para crear ventanas gráficas tan sólo hay que acudir al menú superior de Civil 3D en la pestaña de la presentación y seleccionar alguna de las opciones: rectangular, poligonal, mediante objeto... A continuación, se dibuja la ventana en función de la opción escogida en el espacio de trabajo. Abriendo el menú de las propiedades de la ventana gráfica se puede establecer la escala que se precise, así como la tipología de objetos que se quiere mostrar en ella. Ambos conceptos, junto con el tamaño de la misma, son esenciales para la representación posterior, ya que la sectorización de la representación (toda la información no cabe en un solo plano, por lo que hay que dividirla en varios) dependerá directamente de ella.

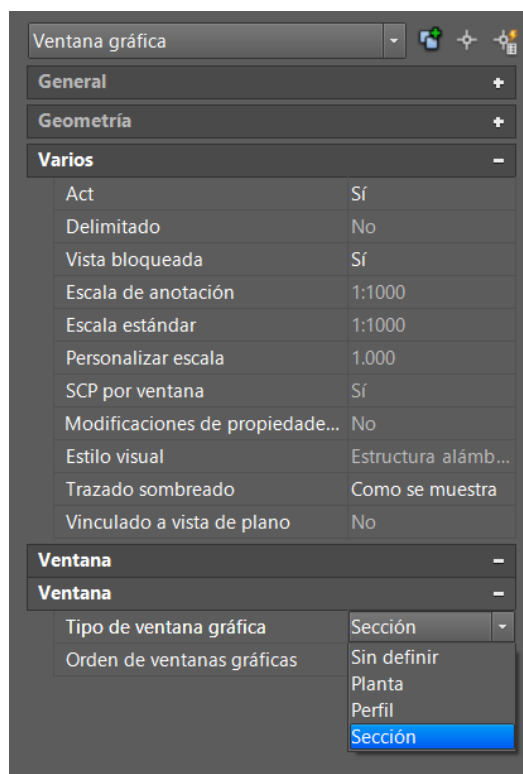


Figura 8.1.2. Edición de las características de la ventana gráfica.

Para finalizar con las ventanas, hay que indicar que una de las consecuencias de que muestren la realidad existente en la pestaña del modelo es que cualquier cambio que se realice sobre los objetos dentro de ella también se trasladará al modelo. Dicho de otro modo, lo que se está modificando es directamente el modelo pero desde la pestaña de la presentación, gracias al conducto que habilita la ventana gráfica. Por ello, una vez se crean los planos y aparecen objetos representados en las ventanas, estas aparecen bloqueadas para evitar que

se produzcan cambios no intencionados. Por tanto, habría que desbloquear previamente para poder hacer modificaciones en su interior, lo cual, en ciertos casos, puede ser de gran utilidad.

La razón por la que se ha creado un archivo de dibujo independiente es para poder almacenarlo con escaso peso y también para evitar que esté completamente relacionado al dibujo del proyecto. Es decir, para facilitar su uso genérico en otros proyectos. Dicho archivo se guarda en formato “Plantilla de dibujo” para, precisamente, poder implementarlo en el proyecto en cuestión o en otros, indistintamente.

Habrà que hacer tantas plantillas (pestañas de presentación diferentes, aunque almacenadas en el mismo archivo de dibujo) como planos diferentes se vayan a elaborar. Para aprovechar el trabajo ya realizado, simplemente se copiarà la pestaña creada y se modificarán las características de la ventana gráfica (forma, escala, tipología de entidades a representar...) y la información correspondiente del cajetín.

Posteriormente, como se verá a continuación, se indicará el empleo de esta plantilla para que sea usada de base en la creación de los planos.

8.1.2 Plano de planta y perfil

Quizás el plano más característico de las obras lineales es el de planta y perfil longitudinal. En él se representan conjuntamente y asociadas entre sí estas dos vistas a lo largo de la traza. Como, en general, no es práctico representar las obras lineales en una sola hoja debido a la extensa longitud de las mismas, se divide el plano en cuestión en varias consecutivas, de forma que, hoja a hoja, se vaya recorriendo toda la extensión longitudinal de la carretera.

Para ello, el primer paso es crear precisamente las divisiones que tendrá la traza para poder ser representada adecuadamente en plano. Esto se lleva a cabo mediante la definición de las minutas, que son el conjunto de áreas concretas con las que se representará la obra lineal en planta y perfil longitudinal. En la pestaña “Salida” del menú superior de Civil 3D, se selecciona la opción “Crear marcos de visualización”, abriéndose una ventana emergente donde podrán editarse sus características: desde la alineación sobre la que se crearán hasta el tipo de guitarra que se le asignará, pasando por las líneas de solape (rectas que aparecen en el plano en planta para indicar el inicio y/o final de la sección de obra lineal que se está representando en él). Es importante señalar que, a diferencia de situaciones anteriores, en este caso no podrán editarse posteriormente algunas propiedades del grupo de minutas, tales como tipo de guitarra, estilo de visualización o características de las líneas de solape. Sí podrá hacerse algo de esto manual e individualmente con posterioridad sobre cada plano, pero con la evidente pérdida de uniformidad y, sobre todo, de versatilidad en cuanto a la parametrización de la herramienta.

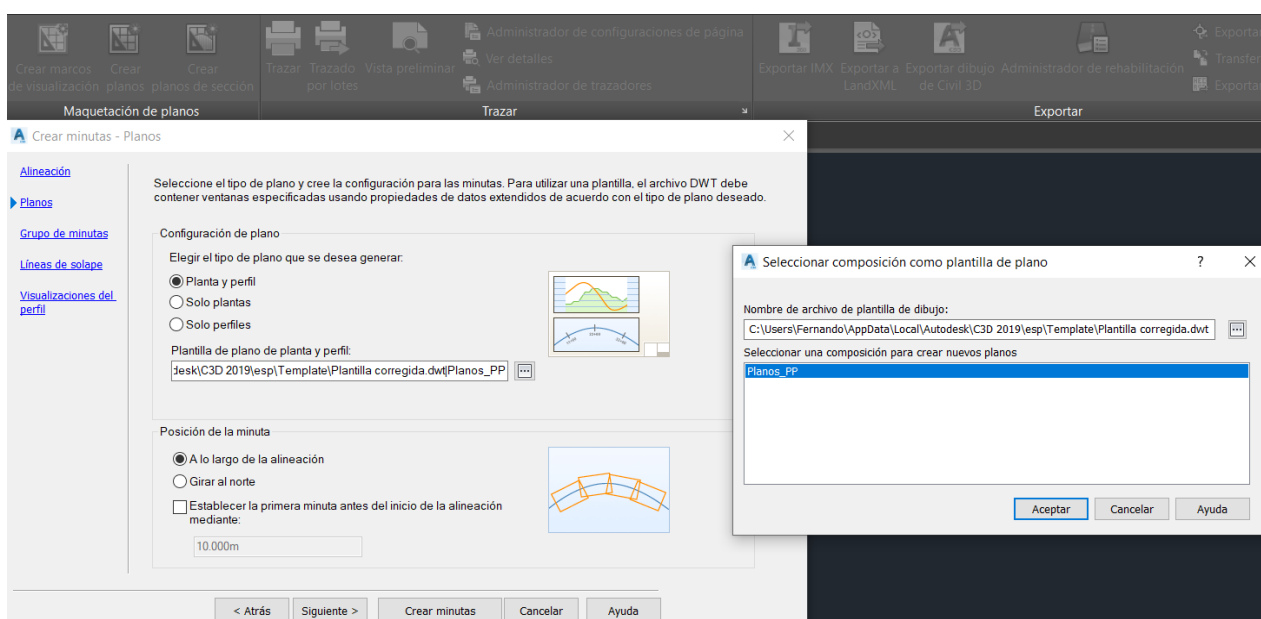


Figura 8.1.3. Creación de grupo de minutas y plantilla asociada.

No se ha mencionado aún, para centrar ahora toda la atención sobre ello, la necesidad de asignar un plano base, o plantilla, para la creación del grupo de minutas. En gran parte reside aquí la importancia de crear previa e independientemente la plantilla de los planos, para, a la hora de establecer las divisiones en hojas de cada tipología de plano, tener un criterio dimensional (formato, dimensión y escala de la ventana gráfica) con el que abordarlas. Así, el programa sólo reconocerá plantillas para planos de planta y perfil longitudinal si se ha asignado con anterioridad el tipo de ventana gráfica en sus propiedades (ver Figura 8.1.2).

Este mismo principio, en lo referente a la plantilla, se aplicará al resto de planos en la cuota que les corresponda, como se introdujo en el epígrafe anterior.

Sólo queda, por tanto, crear los planos propiamente dichos. En la pestaña “Salida” del menú superior de Civil 3D se selecciona la opción “Crear planos”, abriéndose una ventana emergente donde podrán establecerse las características concretas de los planos de planta y perfil longitudinal en base al grupo de minutas que se le asigne. Posteriormente, una vez creados, podrá editarse localmente cada uno de ellos en caso de que fuese necesario ajustar cualquier tipo de detalle (como las cotas de las curvas de nivel en cada hoja, por ejemplo).

8.1.3 Plano de perfiles transversales

En general, el procedimiento es similar a lo ya visto en epígrafes anteriores, si bien la creación de los planos de perfiles transversales tiene algunas particularidades concretas que justifican la dedicación de un epígrafe propio.

A diferencia de los planos de planta y perfil longitudinal, no será necesario definir minutas para la elaboración de las vistas, pero sí habrá que establecer los lugares precisos a lo largo de la traza donde se desea tomar muestra del perfil transversal de la obra lineal y su entorno más cercano. Entonces, se crean para ello líneas de muestreo.

Propiedad	Valor
Intervalo de P.K.	
Desde inicio de la alineación	Verdadero
P.K. inicial	0+000.00m
Hasta el final de la alineación	Verdadero
P.K. final	3+055.00m
Anchura de franja izquierda	
Forzar cursor a alineación	Falso
Alineación	Alignment - (3)
Anchura	20.000m
Anchura de franja derecha	
Forzar cursor a alineación	Falso
Alineación	Alignment - (3)
Anchura	20.000m
Incrementos de muestreo	
Utilizar incrementos de muestreo	Verdadero
Incrementar respecto a	P.K. absoluto
Incremento en tangentes	20.000m
Incremento en curvas	20.000m
Incremento en espirales	20.000m
Controles de muestra adicionales	
Al inicio del intervalo	Falso
Al final del intervalo	Falso
En puntos de geometría horizontal	Falso
En P.K. críticos de peralte	Falso

Figura 8.1.4. Creación de las líneas de muestreo.

En la pestaña “Inicio” del menú superior de Civil 3D se selecciona la opción “Líneas de muestreo”, solicitando el programa, a continuación, que se señale la alineación sobre la que se quiere tomar el conjunto de muestras. Se abrirá un menú específico para el muestreo, y una vez creado el grupo, se dibujan las líneas por cualquiera

de los métodos que permite Civil 3D. Por intervalo de punto kilométrico, por ejemplo. Aparecerá entonces una ventana emergente para que se especifiquen los detalles de las líneas, esto es, longitud de tramo de muestreo, frecuencia, anchura...

Una vez definidas las líneas de muestreo, se puede comprobar el resultado de los perfiles transversales creando vistas en sección mediante la opción correspondiente en la pestaña “Inicio” del menú superior de Civil 3D. Adicionalmente, también se podrán añadir manualmente al grupo de líneas otras individuales que completen o precisen aún más ciertas zonas sobre las que se tenga un especial interés. En todo caso, será necesario crear un grupo de vistas con el conjunto completo de todas aquellas que se deseen incluir en los planos para su posterior elección en el menú correspondiente.

Para la creación de los planos de perfiles transversales, habrá que recurrir a la opción “Crear planos de sección” en la pestaña “Salida” del menú superior de Civil 3D. En la ventana emergente, de forma similar a cuando se crearon los de planta y perfil longitudinal, habrá que asociar alineación, grupo de líneas de muestreo y grupo de vistas en sección al plano, así como la plantilla correspondiente, que esta vez deberá tener una ventana gráfica de tipo “Sección” en sus propiedades (ver Figura 8.1.2.).

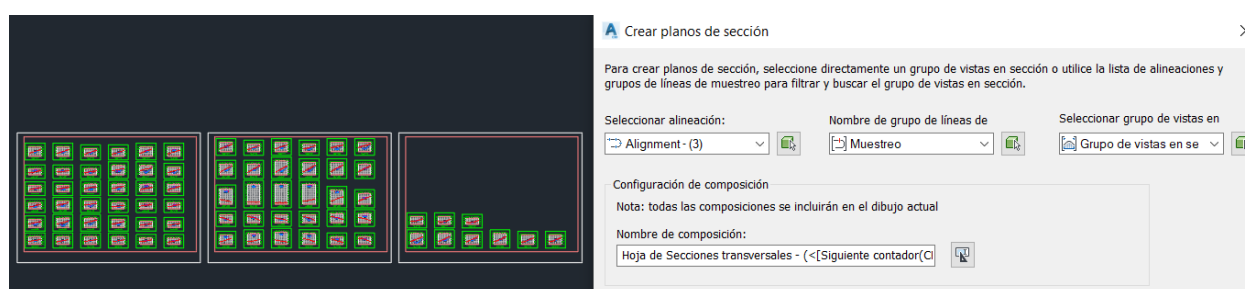


Figura 8.1.5. Creación de planos de perfiles transversales.

Uno de los inconvenientes de este método para la situación de las vistas de perfil transversal en el interior de los planos es la separación entre ellas, que se establece por defecto. No hay, por tanto, ninguna herramienta específica para ordenar y separar/juntar las vistas, siendo necesario hacer estas modificaciones manualmente. Además, esto habrá de realizarse, preferiblemente, de forma previa a la creación de los planos. Posteriormente se podrán editar, como ya se comentó con anterioridad, detalles concretos en cada hoja en caso de ser necesario.

8.1.4 Resto de planos

El grueso del procedimiento para la elaboración de planos, así como las particularidades de los dos anteriores (los más característicos), se ha visto con anterioridad. Entonces, en este apartado se abordarán de forma muy breve algunos detalles concretos que puedan ser de interés en lo referente al resto de planos incluidos en el documento.

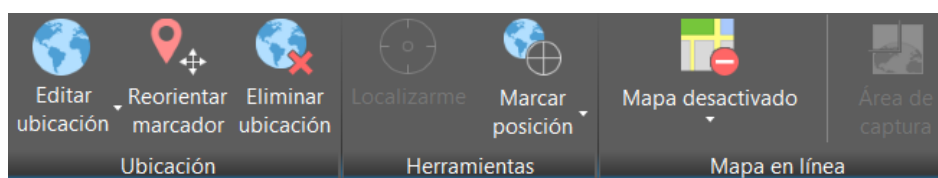


Figura 8.1.6. Geoubicación en Civil 3D.

En general, según el contenido de la Tabla 8.1.1., para la elaboración de los planos que quedan por definir en el presente trabajo tan sólo será necesario hacer uso de los mapas en línea, disponibles en la pestaña “Geoubicación” del menú superior de Civil 3D. Ellos se activan con gran facilidad en dicho emplazamiento y sin necesidad de mayor extensión en estas líneas. También pueden completarse mediante la aportación de

imágenes externas y, por supuesto, editando y mostrando o no las diferentes capas que componen el modelo con objeto de incidir en el concepto que se esté trabajando. Para las secciones transversales, además, se acotarán las diferentes secciones con las herramientas disponibles en la pestaña “Anotación” del menú superior de Civil 3D.

8.2 Recorrido virtual en InfraWorks

Una de las principales funcionalidades, por novedosa e ilustrativa, de esta metodología es que permite crear un recorrido virtual a lo largo de la obra lineal haciendo uso del programa InfraWorks. A continuación, se detallarán sucintamente los principales pasos a seguir para la elaboración de esta representación audiovisual.

En el epígrafe 7.1 se menciona cómo pasar los datos del proyecto de Civil 3D a InfraWorks, y el capítulo 4 contiene información de cómo proceder con este último, por lo que se pasará a detallar directamente lo relativo al itinerario virtual. Hay que señalar que, pese a la pérdida de información que se puso de manifiesto en el apartado 7.3, el video puede realizarse sin perjuicio alguno de su resultado, ya que lo único que se está haciendo es una representación de los datos, no una modificación de los mismos ni la introducción de nuevos elementos de diseño en la obra lineal. En todo caso, la información que ahora se genere no se devolverá a Civil 3D para continuar con la edición del modelo.

Para la elaboración del video, una vez dentro del proyecto en InfraWorks, hay que seleccionar la pantalla del menú superior (ver Figura 8.2.1.) y, posteriormente, la opción “Crear guiones gráficos” en el menú desplegable de la izquierda de la pantalla. A continuación se abrirá en la parte inferior de la pantalla una banda donde poder editar el contenido concreto de la película.

Una vez en la barra de opción del guión gráfico, se van añadiendo las diferentes vistas que se desea que compongan el contenido. Para ello, y con objeto de establecer un orden claro, aparece una escala temporal donde se irán incorporando los elementos visuales que se dispongan. Estos elementos, o animaciones, se encuentran en menús desplegables de la barra de herramientas del guión gráfico (ver Figura 8.2.2.), destacando la opción “Crear a partir de carretera compuesta”, que es la herramienta que permite recorrer virtualmente y de forma automática toda la longitud de la obra lineal. En todo caso, podrá importarse un archivo de puntos externo con la trayectoria de la cámara para una visualización más concreta, si bien bastará con la opción mencionada anteriormente al tener un resultado muy notable para el alcance del presente trabajo.

Por otro lado, además del recorrido virtual, podrán incorporarse otras perspectivas y movimientos de cámara por toda la geografía del modelo, pudiendo encadenarlas y definir la velocidad a la que se producen, el giro que realizan, el zoom y el desplazamiento.



Figura 8.2.1. Creación de video con InfraWorks.

Pese a todo ello, aunque InfraWorks implementa estas herramientas de notable utilidad gráfica y visual, la versatilidad de las mismas es bastante limitada. En otras palabras, dichas herramientas son suficientes para hacer un video de suficiente calidad para presentación de proyectos, pero su número es discreto y su uso queda restringido a uno o dos parámetros sencillos de los que dependen, no pudiéndose hacer trayectorias complejas con recorridos y movimientos de cámara medianamente elaborados. Además, en el caso de la trayectoria continuada de la obra lineal, hay parámetros que se definen inicialmente al incorporar la animación (altura de la cámara, desfases, sentido de la marcha...) y que no pueden modificarse posteriormente, así como presentan un proceso manual lento y tedioso el introducir cambios en aquellos parámetros que sí lo permiten (modificación de la velocidad de la marcha en fotogramas). En el caso mencionado sólo puede editarse con sencillez la duración de la animación, característica que comparte con el resto.

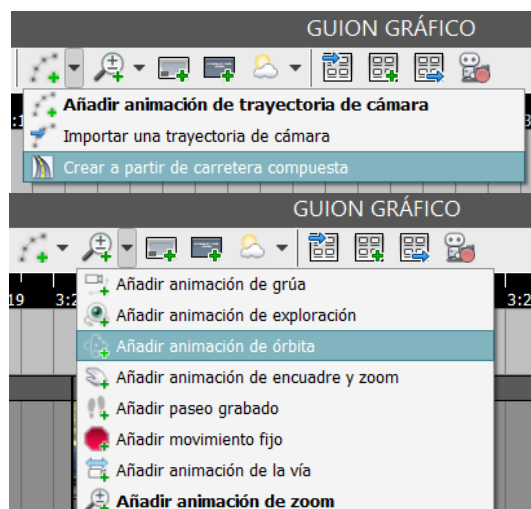


Figura 8.2.2. Herramientas de creación de recorrido virtual y otras perspectivas en InfraWorks.

En lo referente a títulos, texto y transiciones, el editor es excesivamente simple y ambos cuentan apenas con un par de opciones, por lo que no pueden aplicarse efectos llamativos en estos campos.

Se pueden ir arrastrando y cambiando de orden las diferentes animaciones de forma sencilla por la escala temporal del video, así como reproducir el video y detenerlo para continuar la edición.

Finalmente, para generar el video en un archivo adecuado de formato legible por un reproductor, se selecciona la opción “Exportar guión gráfico” de la barra de herramientas del menú del guión gráfico, abriéndose una ventana emergente para especificar las características de dicho archivo.

De forma previa a la generación final del video, y perfectamente en paralelo con la implementación de animaciones, pueden ir editándose las características visuales del modelo. Esto es, ajustar los estilos de la superficie y de la obra lineal y sus componentes. Ello se realiza mediante las respectivas opciones en el marcador “Crear elementos de diseño conceptual” del botón rojo del menú superior de InfraWorks (ver Figura 8.2.3). En cada una de las opciones que aparecen, al pulsar sobre ellas surge una paleta con los diferentes estilos y elementos disponibles para incorporar al modelo. En este sentido, pueden modificarse las características de la carretera pulsando sobre sus componentes y cambiando los estilos, o mediante la opción del menú que se ha comentado.

Asimismo, como continuación de lo anterior, pueden añadirse diversos elementos al modelo que ayuden a su correcta interpretación visual. En el presente trabajo, se ha optado por colocar sobre la superficie la ortofoto digital del terreno mediante un origen de datos en línea. Entonces, desde la distancia se obtiene un buen

resultado visual, no así cuando se recorre la obra lineal, que al pasar muy cerca de esta, se pone de manifiesto que los elementos de la superficie son todos planos y adosados a ella, sin relieve. Se opta por introducir elementos arbóreos, mediante la selección de la opción correspondiente en el menú mencionado, para reconstruir la cobertura vegetal de, al menos, las zonas aledañas a la obra lineal, que serán las que mayor incidencia tengan en el recorrido visual. También se define un “Área de agua” sobre la superficie correspondiente al interior del embalse, siendo necesario bordear manualmente pulsando con el cursor todo el contorno que se desee representar de esta forma. Con la opción “Mobiliario urbano” pueden añadirse elementos tales como vehículos, viandantes y señalización viaria, dentro de una paleta, esta vez sí, amplia de donde poder escoger.

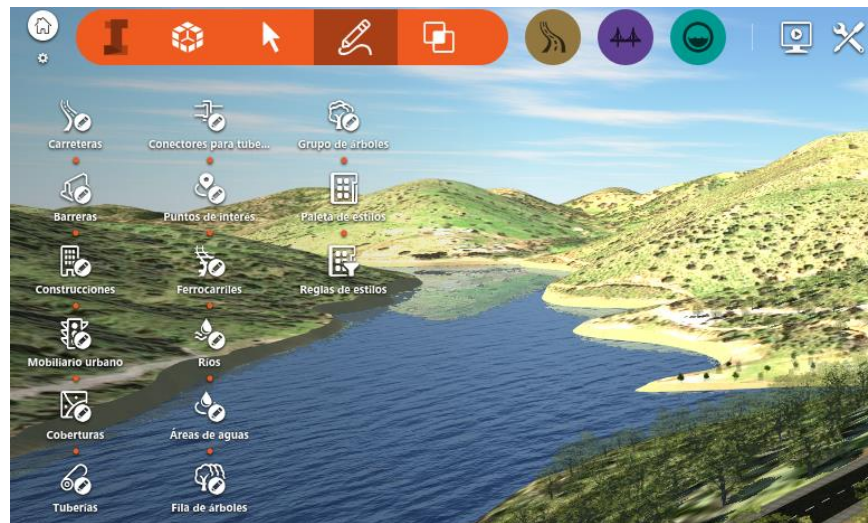


Figura 8.2.3. Creación de elementos de diseño conceptual.

Se pueden añadir componentes de diversa naturaleza, y una vez en el modelo, modificar su posición, tamaño y orientación, de forma que resulte una representación completa y llamativa para el espectador a quien va dirigida. No hay que olvidar, sin embargo, que cuanto mayor sea la densidad de estos elementos en el espacio del modelo, mayor coste computacional se tendrá al reproducir y de mayor peso se dotará al archivo de video final.



Figura 8.2.4. Representación de obras al final del tramo de carretera modelado.

9 CONCLUSIONES

Una vez desarrollados los diferentes procedimientos de la metodología propuesta para el diseño de una obra civil que englobe carretera y viaducto, así como detallado las funcionalidades de los programas implicados y reflexionado sobre cada circunstancia surgida en el transcurso del estudio, finaliza el documento escrito con una recopilación de las conclusiones más relevantes que se han podido ir extrayendo a lo largo de las páginas precedentes, reuniéndose en este capítulo diversos puntos de información significativa en el proceso con vista a que pueda ser de utilidad en el futuro.

En primer lugar, se ha puesto de manifiesto a lo largo de todo el trabajo las ventajas que supone, o, de forma más global, supondría, poder aplicar una metodología BIM “pura”, ya que ello facilitaría enormemente el proceso de diseño de las infraestructuras permitiendo aprovechar las características y potencialidades principales de diferentes programas, a menudo no coincidentes. Por tanto, la tendencia del avance tecnológico en los procesos de diseño debe ir encaminada en este sentido, dada la sinergia potencial que puede desarrollarse.

Se ha constatado que, en la metodología BIM propuesta con los dos programas de Autodesk, InfraWorks y Autocad Civil 3D, existen deficiencias en el trasvase de información entre ambos, a la postre de considerable importancia, ya que el hecho de “no traducir” correctamente los datos que provienen desde el otro programa ha llegado a impedir traveses de información posteriores, perdiéndose información en el proceso hasta el punto de perder la utilidad de este movimiento.

Sobre InfraWorks hay que constatar el gran potencial gráfico del programa, permitiendo una visualización con gran detalle y calidad de los modelos en él. Sin embargo, la escasa variedad de opciones y estilos unida a la poca versatilidad de sus herramientas, las cuales sirven exclusivamente para una o dos funciones concretas, restan parte del enorme atractivo que presenta. En todo caso, es una herramienta útil para el planteamiento rápido de situaciones y modelos de prueba, así como para crear una base representativa en el bosquejo de alternativas. Por tanto, se constituye en un programa más que interesante para la generación de argumentos previos a una posterior toma de decisiones.

La interfaz sencilla de InfraWorks juega un papel esencial en sus características, encabezando, quizás, el conjunto de los pros. En concreto, el diseño de infraestructuras puede realizarse de forma rápida e intuitiva, ahorrando tiempo y coste al usuario, aunque estas bondades se ven mermadas por la restringida variedad de opciones de diseño y las limitaciones de las versiones actuales del programa a la hora del trasvase de los datos del modelo a terceros. Estos condicionantes, sin embargo, no restan un ápice al potencial gráfico del programa de cara a la representación visual del modelo, consiguiendo resultados y animaciones realmente llamativas y

realizadas de modo sencillo e intuitivo.

Sobre Autocad Civil 3D hay que reincidir en las muchas bondades que presenta el programa de cara al diseño de obras lineales. Como continuación de la frase anterior, tras obras lineales habría que añadir el calificativo “sencillas”, ya que, como se ha comprobado, en el momento en que comienzan a introducirse elementos ajenos a los propios de una carretera, el programa va volviéndose menos intuitivo y los procesos comienzan a convertirse en más manuales, limitándose el componente de la parametrización por el camino. Por destacar las más relevantes, a juicio del diseñador y en base a este estudio, se mencionarán las siguientes. En primer lugar, la funcionalidad, quizás, más importante que presenta Civil 3D es la comprobación del diseño en base a normativa, ya que no sólo permite un ajuste del mismo dentro de las recomendaciones y lo permitido en ella, sino que, además, implementa una plantilla con la norma recogida y permite, aún más, editar, restringir y crear en base a ella los parámetros de comprobación. De esta forma, además de la aplicación del criterio ingenieril, se gana en seguridad y el usuario ahorra tiempo y coste en el proceso de diseño. La segunda de las características a señalar, al hilo de la última de las bondades mencionadas anteriormente, es la parametrización, abordada desde un ámbito general. El hecho de que cambios puntuales en alguna parte del modelo se traduzcan y actualicen en el resto, crea una sinergia interesantísima y un ahorro en costes grande, dotando a la herramienta de un potencial en el diseño más que significativo.

En la otra cara de la moneda, como ya se introducía, Civil 3D comienza a perder, aunque poco, parte de su versatilidad a medida que se van introduciendo elementos “extraños”, entendidos estos como ajenos a la naturaleza pura de la obra lineal (superficie, ensamblaje, características de la vía). Junto con las limitaciones de la capacidad de procesamiento del ordenador, el programa pierde potencia de cálculo y aumenta el coste computacional a medida que aumenta la extensión del modelo, lo cual no sale de la normalidad. Sin embargo, hay que tener especial cuidado a la hora de almacenar las superficies grandes, ya que la ruta que usa el programa para incorporarla puede ser incorrecta al cambiarse el lugar de almacenamiento sólo de estas a causa del tamaño. Entonces, ello obliga a tener una idea más o menos definida de lo que se quiere hacer de forma previa a atacar el modelo, para ahorrar inconvenientes futuros.

La última de las limitaciones que se señalarán de Civil 3D es en el momento de elaborar los planos. En ningún caso se sugiere que sea deficiente. Al contrario, para los planos propios y característicos de obras lineales sencillas es extremadamente funcional. Sin embargo, para planos que se salen de la naturaleza propia de la obra de carretera en sí, pierde prestaciones frente a otros programas que manejan de forma más intuitiva y con menos coste el tratamiento de los datos a representar en ellos. A priori, esto no supone ningún inconveniente, si bien sí es una limitación restringiendo el estudio, como se ha hecho, a la metodología con los dos programas mencionados, ya que no está presente en estos términos la operatividad del entorno BIM al que se debe tender.

En definitiva, la metodología propuesta para abordar el diseño de una carretera con viaductos mediante Civil 3D e InfraWorks es, desde el punto de vista teórico, óptima, si bien presenta limitaciones relacionadas con la adaptación al entorno BIM en el plano práctico, las cuales, probablemente, se solventen en modernas versiones de los programas. Pese a ellas, y teniéndolas en cuenta de antemano, puede atacarse el diseño de forma ordenada teniendo claro hasta dónde llegar, qué programas usar para qué funciones concretas y la calidad de los resultados obtenidos, en previsión de la que podría buscarse alguna alternativa.

10 BIBLIOGRAFÍA

AUTODESK. *AutoCAD Civil 3D Help*.

<<http://docs.autodesk.com/CIV3D/2014/ESP/index.html>>

[Consulta: 7 de mayo de 2019]

AUTODESK. *Autodesk InfraWorks Training Guide*.

<http://docs.autodesk.com/ICD/2014/ENU/Training_Guide/autodesk-infraworks-training-guide.pdf>

[Consulta: 23 de junio de 2019]

BAÑÓN BLÁZQUEZ, L. (2000). *Manual de Carreteras*.

CHOQUE URURI, E. (2018). *Autocad Civil 3D plotear planta y perfil por kilómetro*.

<<https://www.youtube.com/watch?v=vc8KpvtDYhM>>

[Consulta: 14 de noviembre de 2019]

COBELO FUENTES, D. (2019). *Caso práctico de diseño conceptual BIM de obras lineales con Infraworks. Masterclass técnica*.

Eadic.

<<https://www.youtube.com/watch?v=UB1uCzdtSR0>>

[Consulta: 11 de octubre de 2019]

GARCÍA GARCÍA, A. (2012). *Criterios de presentación de los planos del trazado*.

Universidad Politécnica de Valencia.

JUNTA DE ANDALUCÍA. *Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía*.

<<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/lineav2/web/>>

[Consulta: 24 de mayo de 2019]

MINISTERIO DE FOMENTO (2014). *Recomendaciones para la redacción de los proyectos de construcción de carreteras*.

MINISTERIO DE FOMENTO (2015). *Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras*.

MINISTERIO DE FOMENTO (2016). *Norma 3.1 IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras*.

MORATO MORENO, M. (2019). *P 2.11 Camino (obra lineal). Basic corridor*.

<<https://youtu.be/TPNzEEy1hD8>>

[Consulta: 12 de agosto de 2019]

NAVARRO, E. (2017). *Proyectando entidades en secciones transversales y perfil Civil 3D 2017*.

<<https://www.youtube.com/watch?v=9GanKGipcPw>>

[Consulta: 17 de septiembre de 2019]

NOYOLA RIVERO, S. (2017). *Autodesk® AutoCAD® Civil 3D: Defining Bridge Gap in Compute Materials (supresión de Volúmenes)*.

<<https://www.youtube.com/watch?v=v3R2c44thBQ>>

[Consulta: 20 de noviembre de 2019]

TORRECILLAS LOZANO, C. (2016). *Apuntes de Topografía del Grado en Ingeniería Civil*.

Material no publicado. Universidad de Sevilla.

Todas las tablas, figuras e imágenes contenidas en el presente documento son de elaboración propia, salvo expresa contradicción en la información al pie de cada una.

11 PLANOS

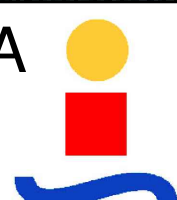
ÍNDICE DE PLANOS:

- SITUACIÓN GENERAL (SG)
- ORTOFOTOPLANO CON LA TRAZA (OT)
- PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL (PP)
- PERFILES TRANSVERSALES (PT)
- SECCIONES TRANSVERSALES (ST)





UNIVERSIDAD DE SEVILLA
E.T.S. de INGENIERÍA
MUICCP



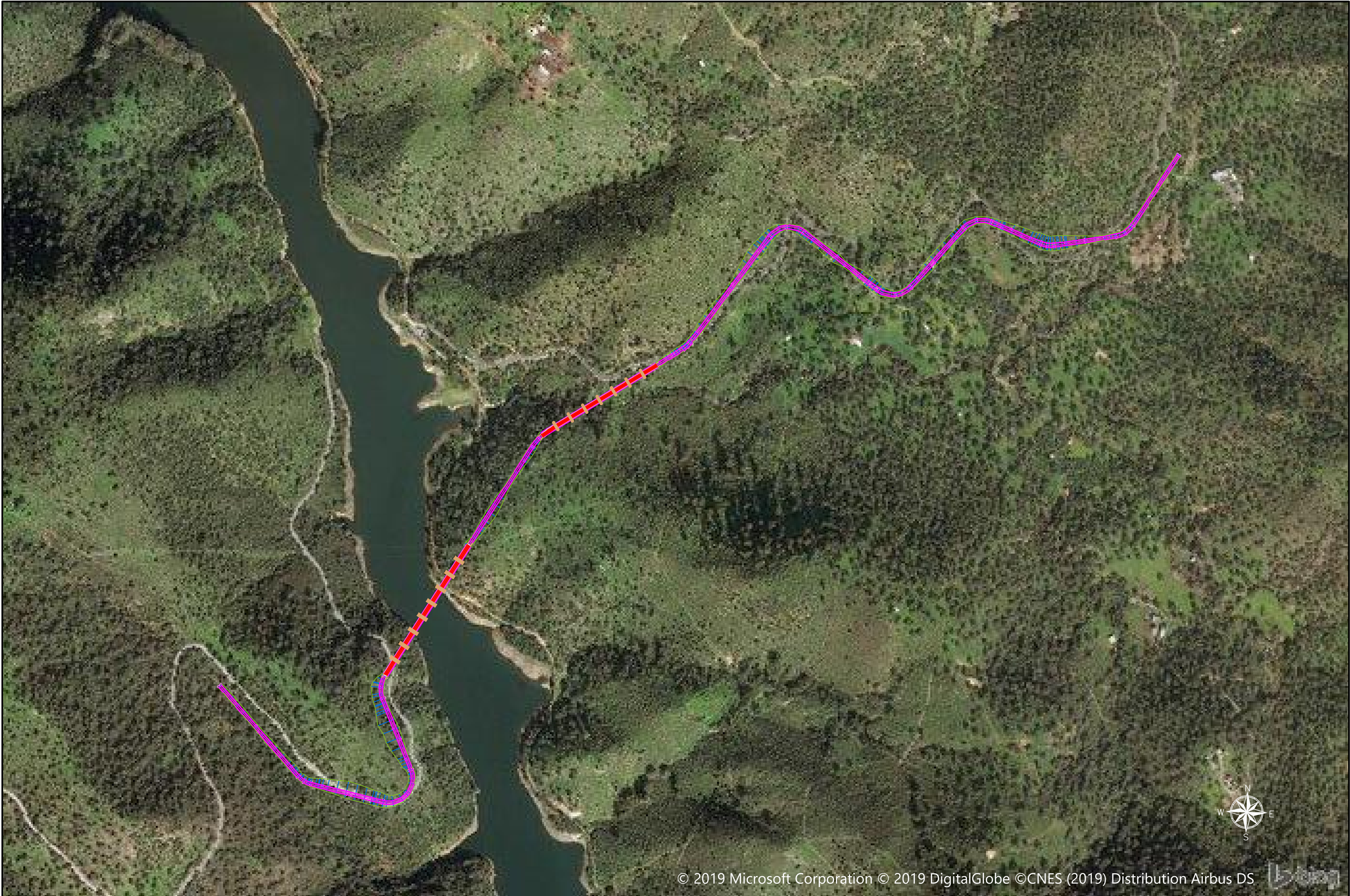
TRABAJO FIN DE MÁSTER
Autor:
Fernando Rodríguez Fernández-Palacios

Título:
DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA CON VIADUCTO
Emplazamiento: Embalse de La Minilla, provincia de Sevilla

Escala:
(VER)
Octubre 2019

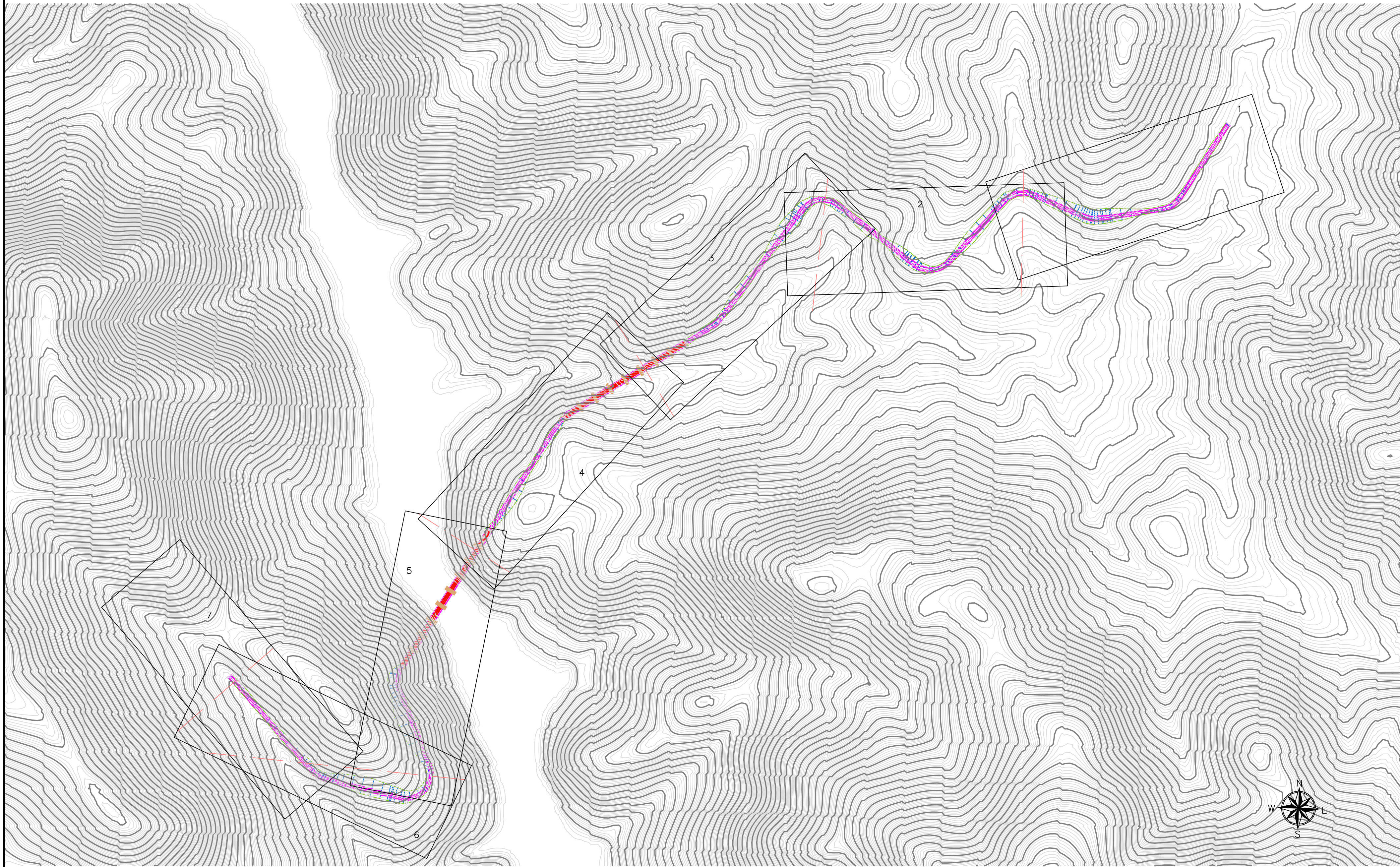
Plano:
SITUACIÓN GENERAL
Formato original A2 UNE

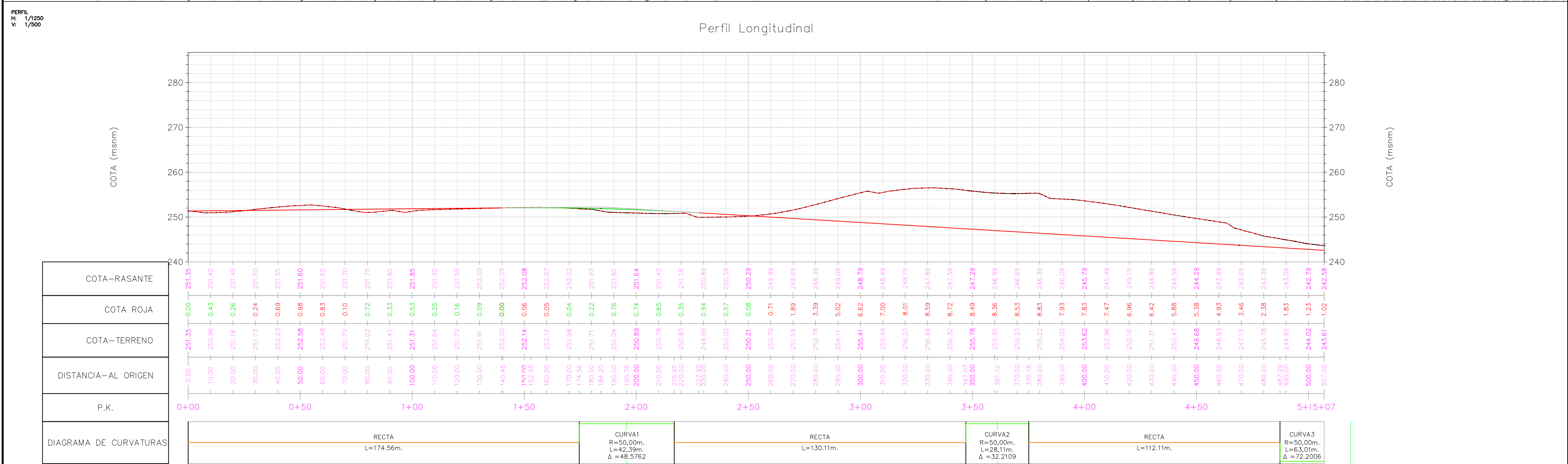
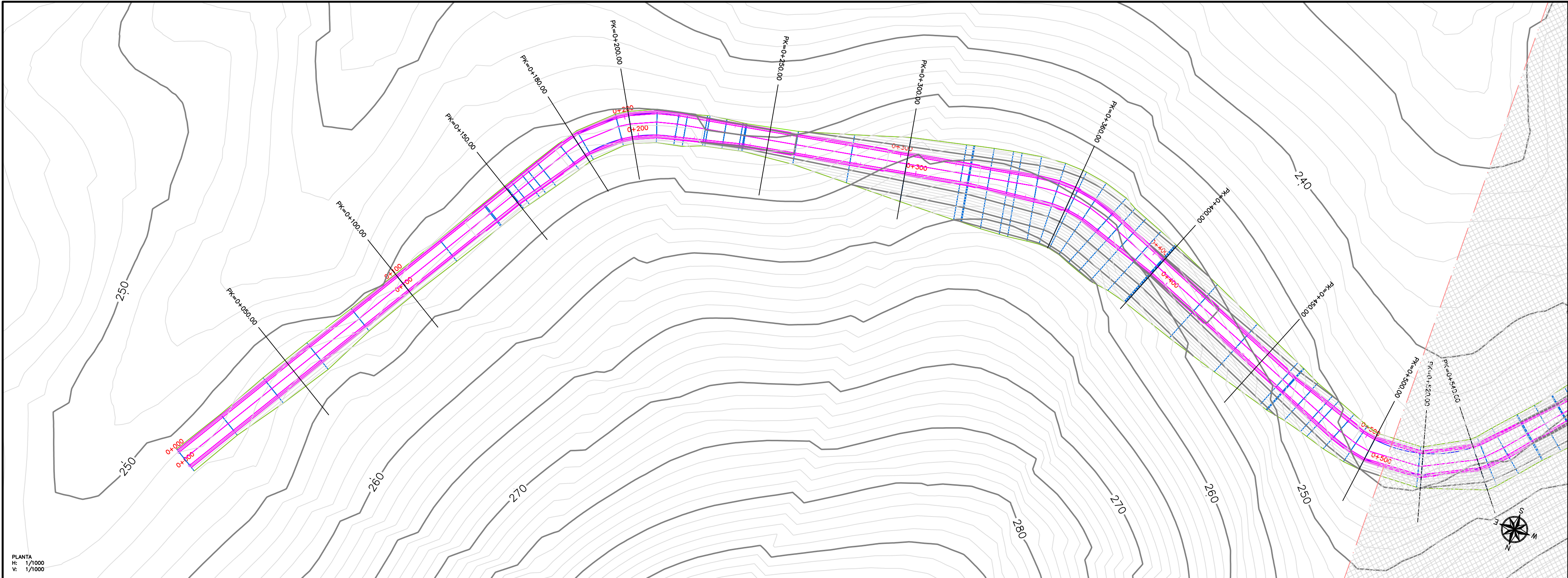
n°
SG—1
Hoja 1 de 1

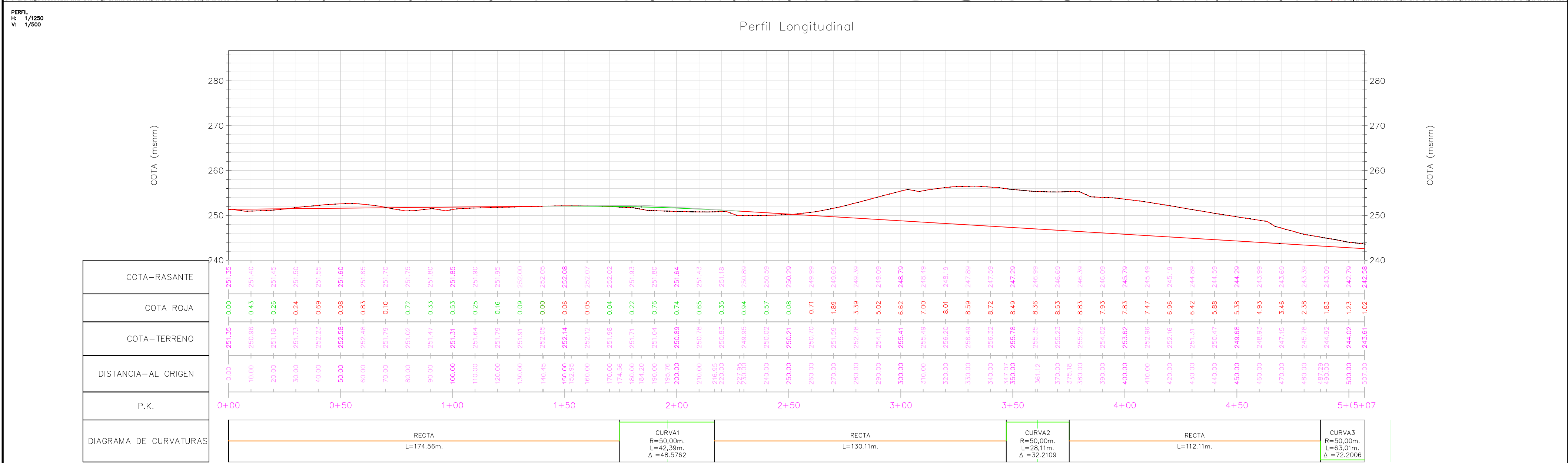
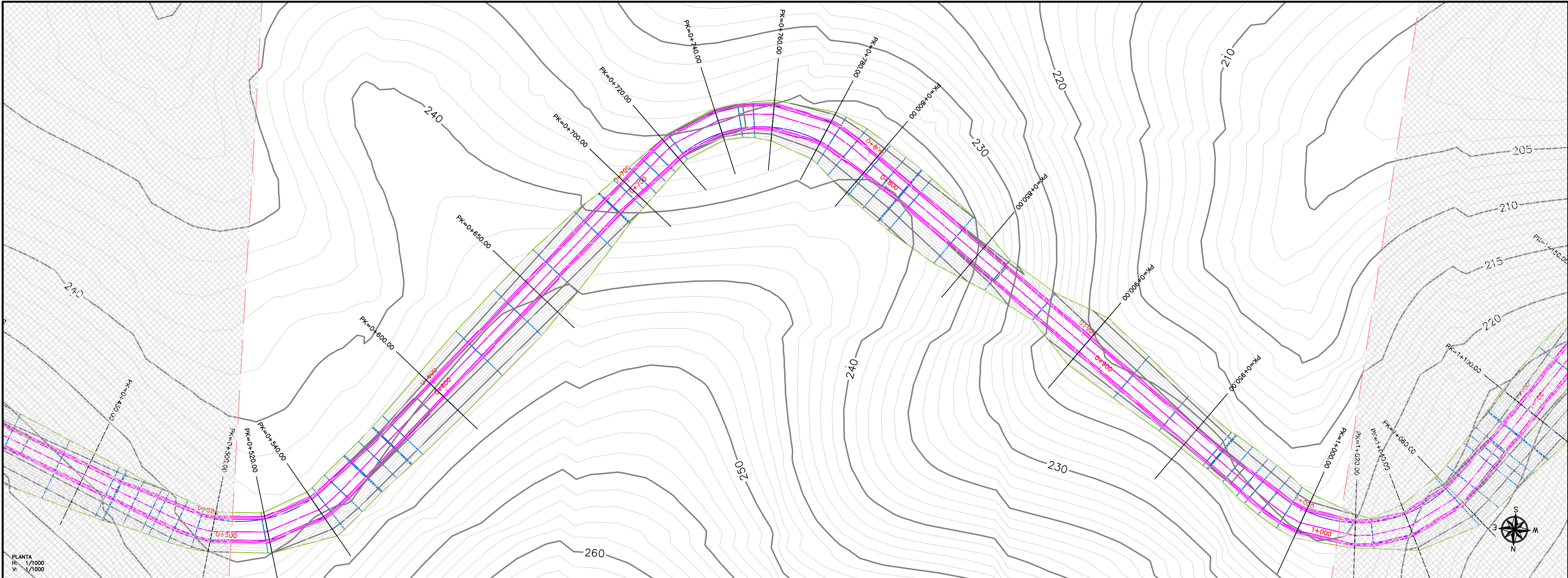


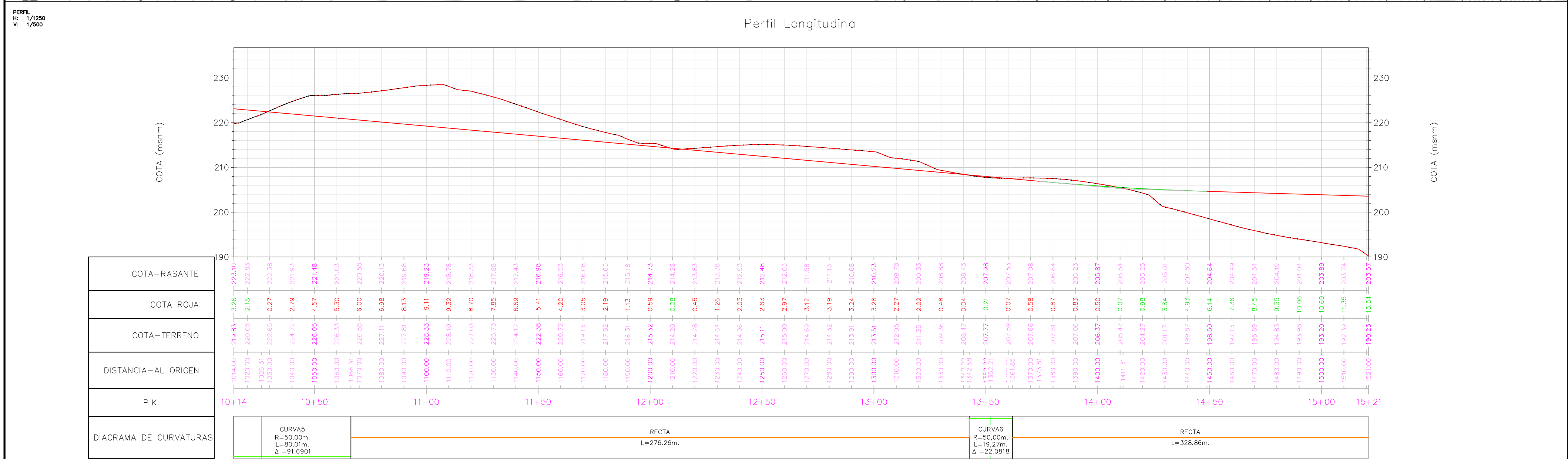
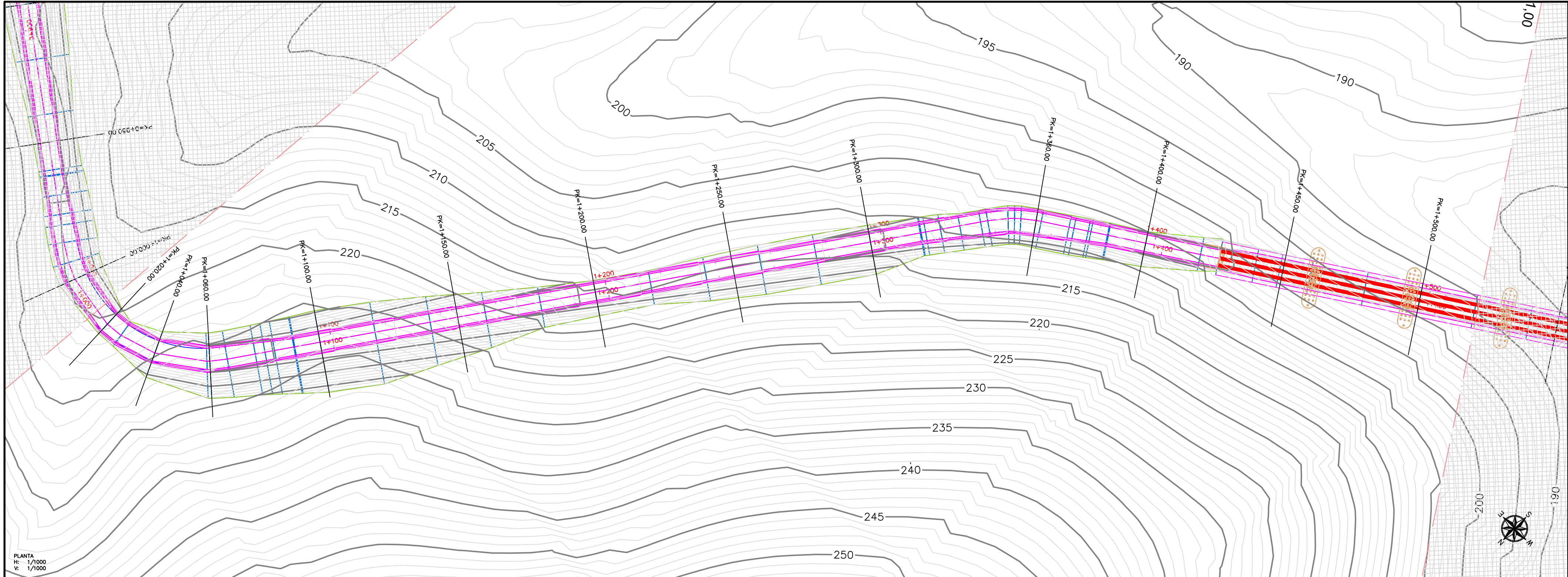
© 2019 Microsoft Corporation © 2019 DigitalGlobe ©CNES (2019) Distribution Airbus DS

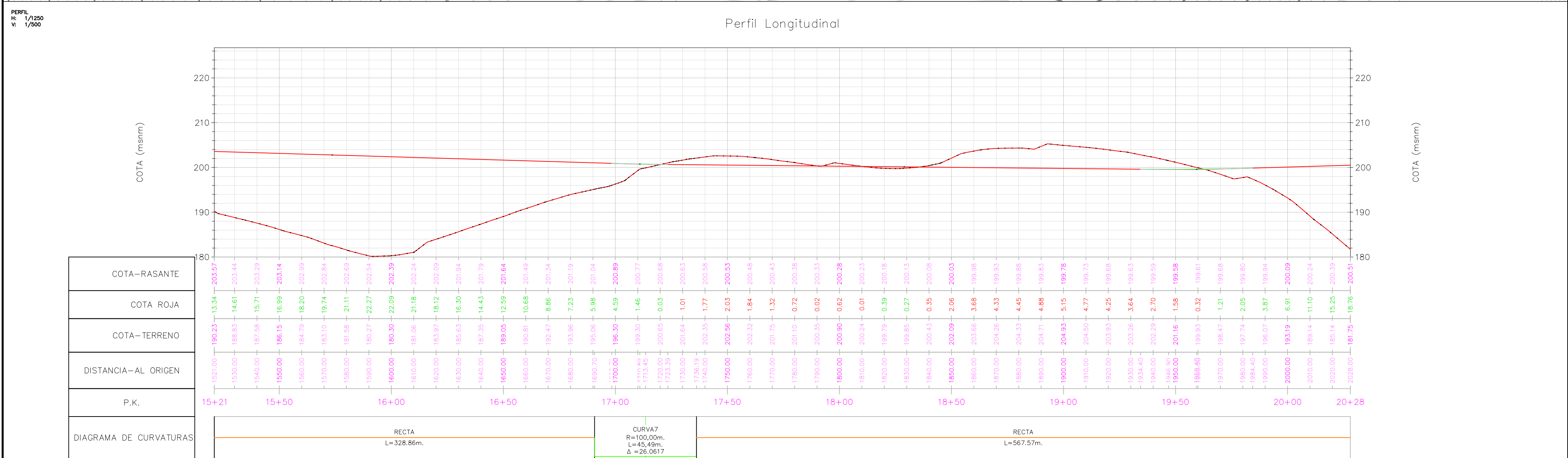
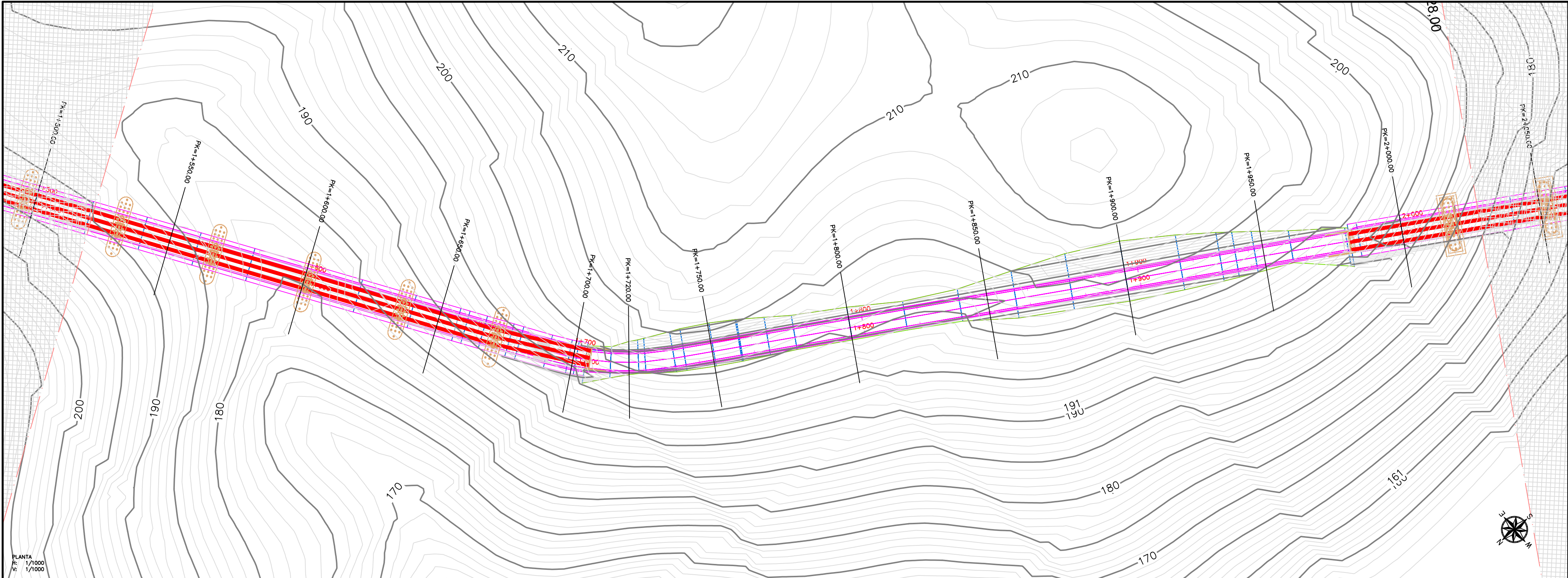


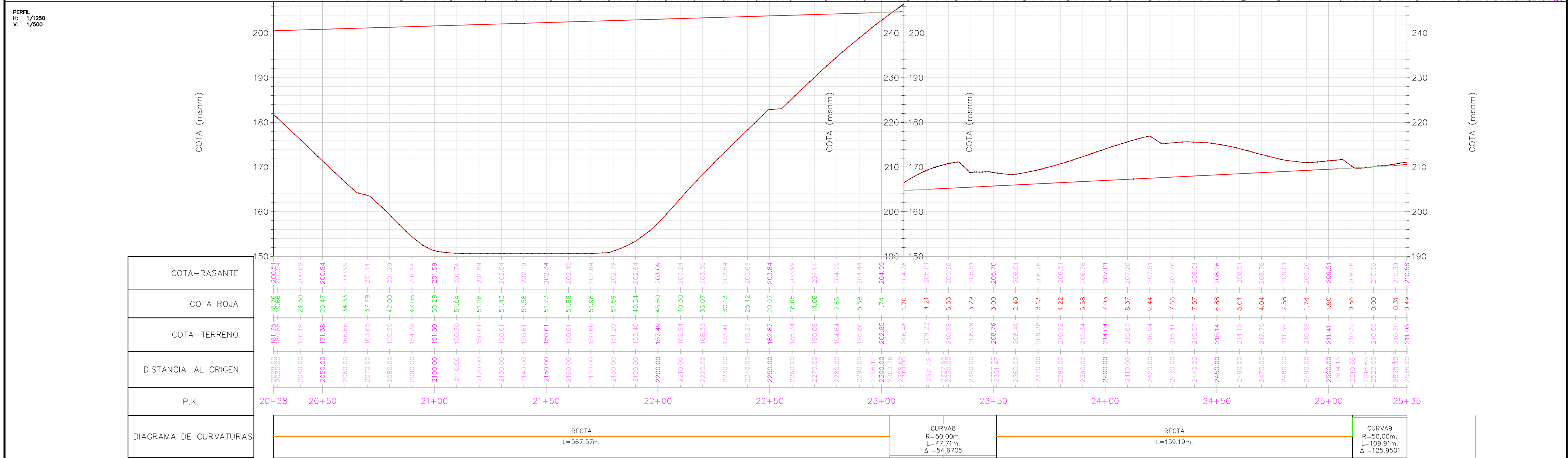
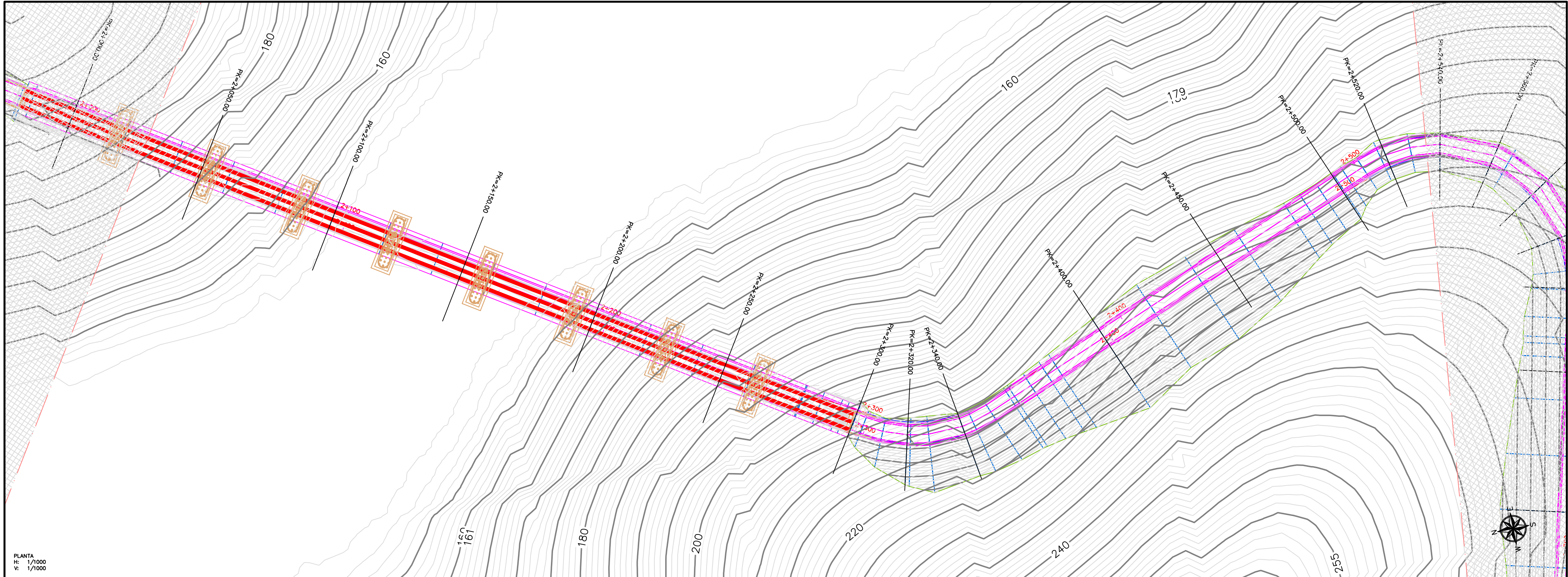


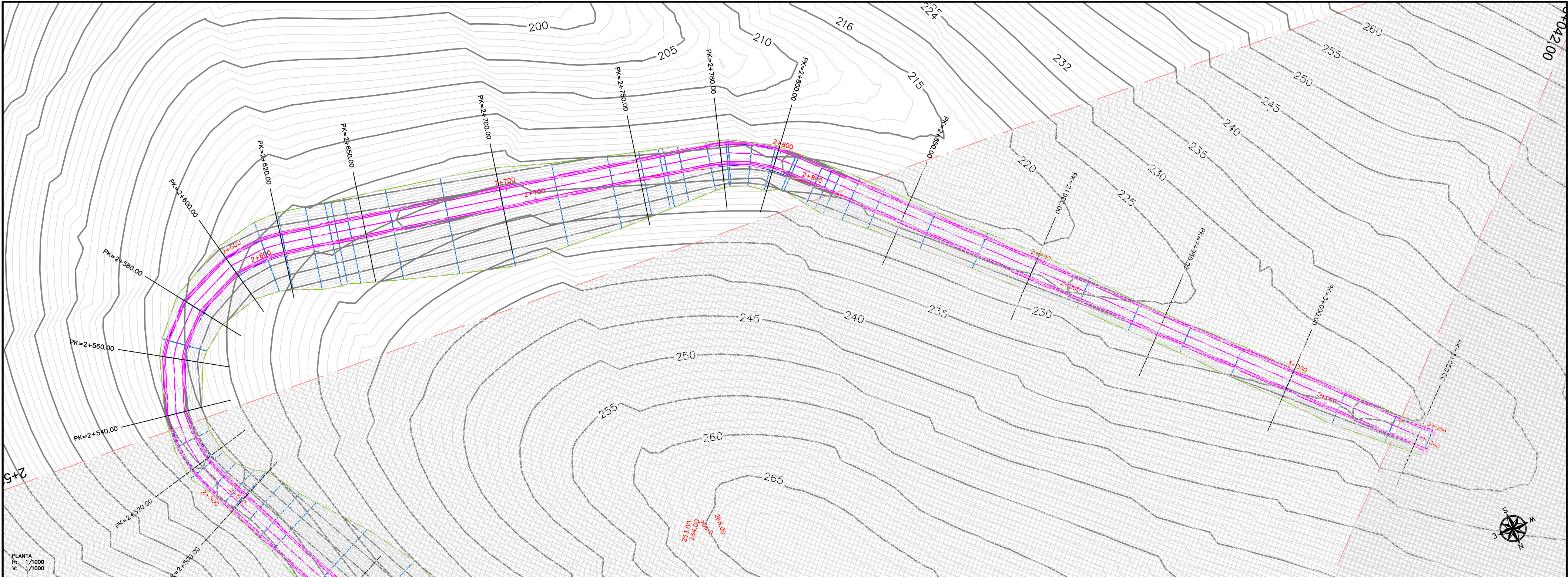








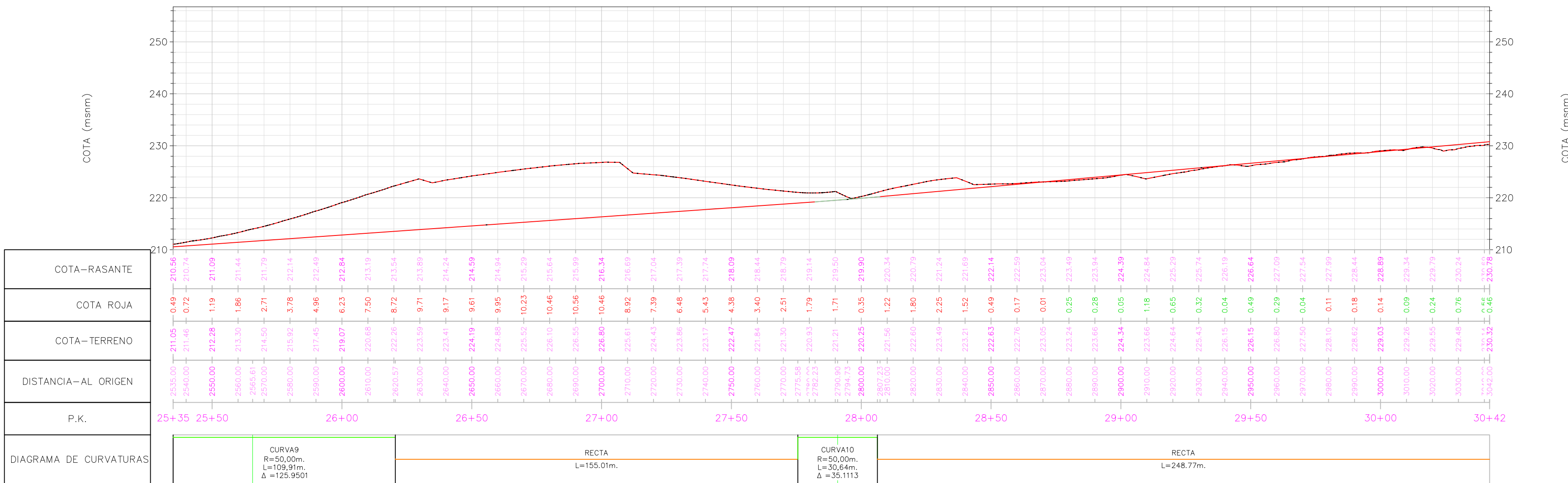


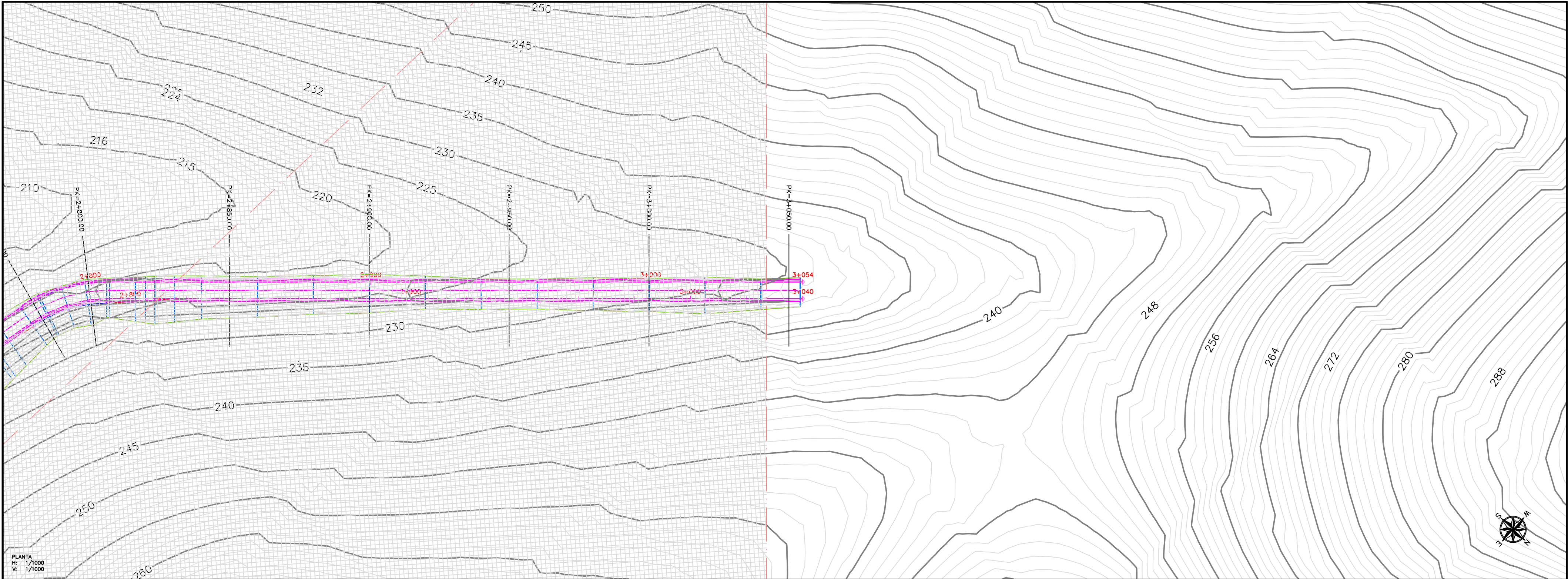


PLANTA
H: 1/1000
V: 1/1000

PERFIL
H: 1/1250
V: 1/500

Perfil Longitudinal

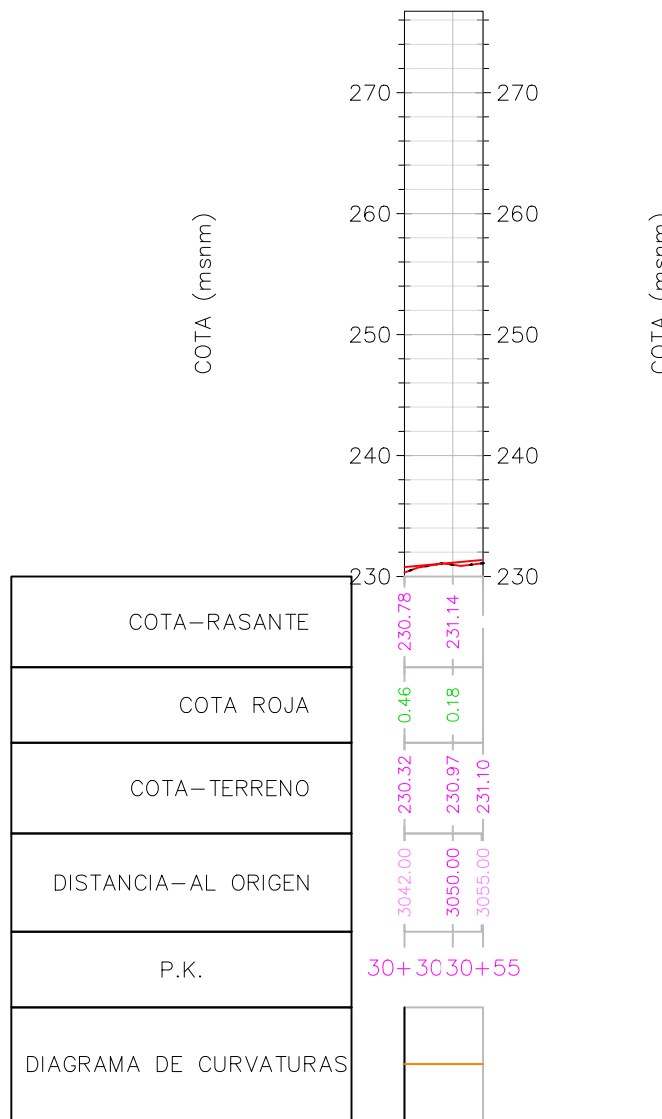


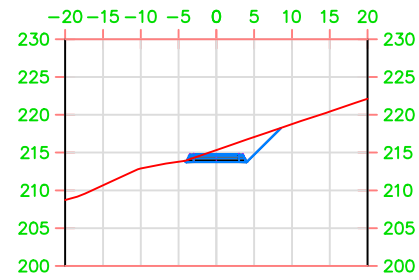


PLANTA
H: 1/1000
V: 1/1000

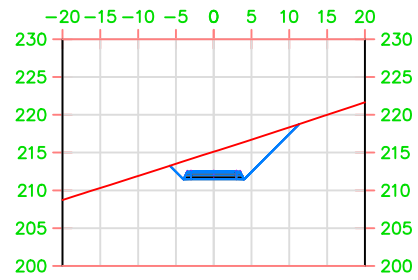
PERFIL
H: 1/1250
V: 1/500

Perfil Longitudinal

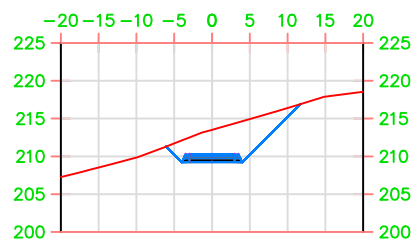




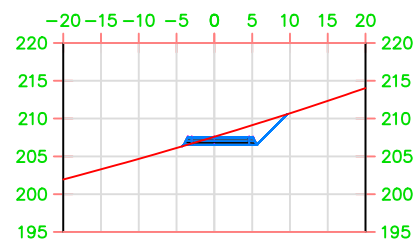
P.K.=1+200



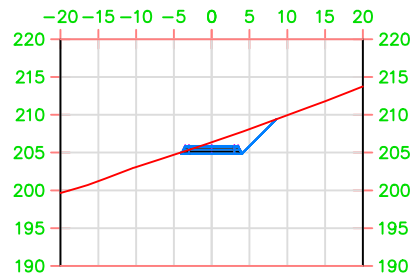
P.K.=1+250



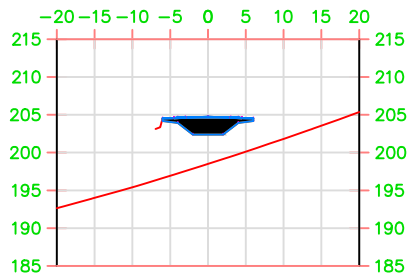
P.K.=1+300



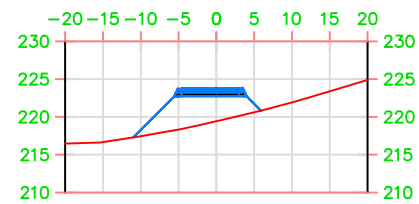
P.K.=1+360



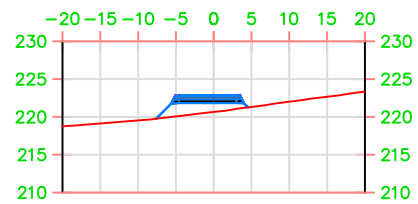
P.K.=1+400



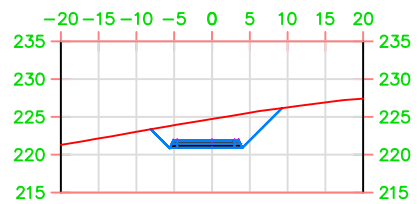
P.K.=1+450



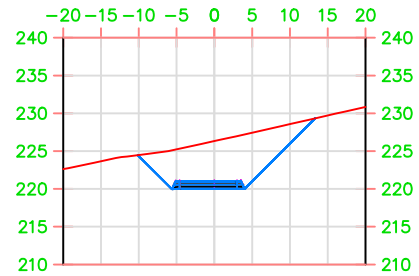
P.K.=1+000



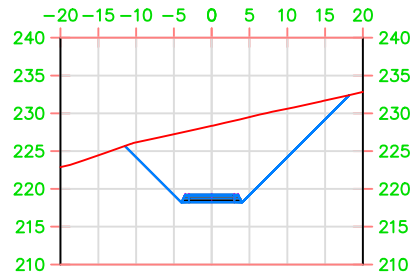
P.K.=1+020



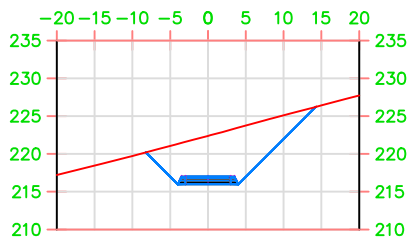
P.K.=1+040



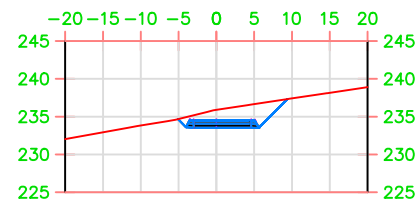
P.K.=1+060



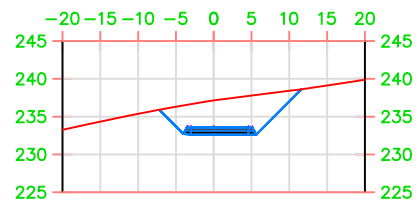
P.K.=1+100



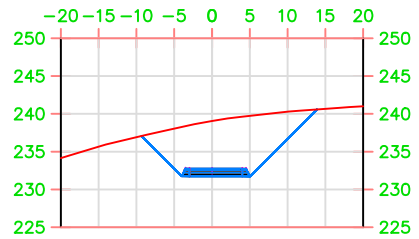
P.K.=1+150



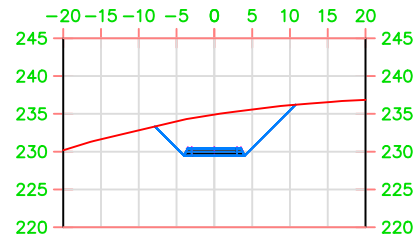
P.K.=0+760



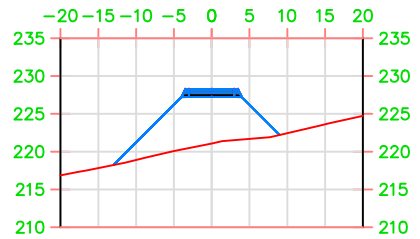
P.K.=0+780



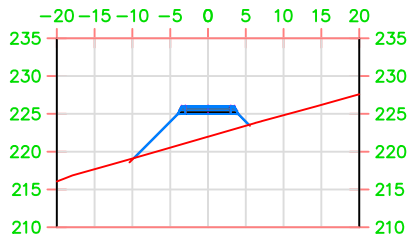
P.K.=0+800



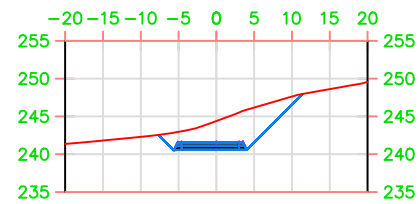
P.K.=0+850



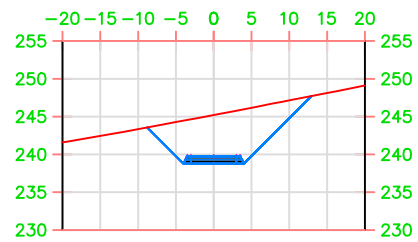
P.K.=0+900



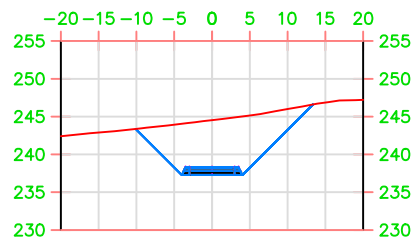
P.K.=0+950



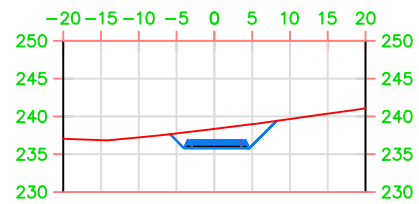
P.K.=0+540



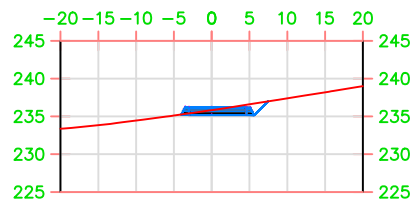
P.K.=0+600



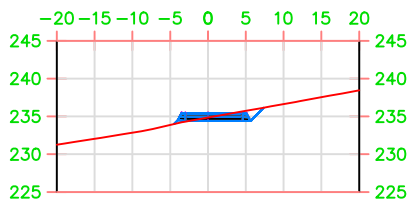
P.K.=0+650



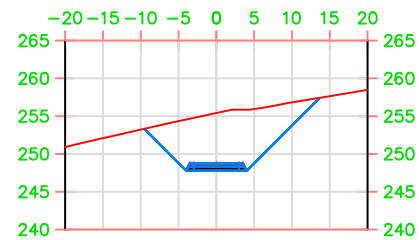
P.K.=0+700



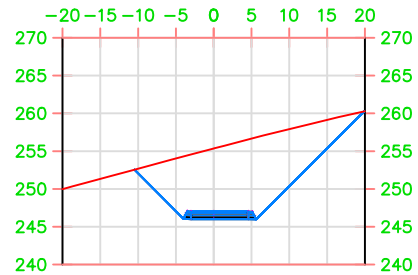
P.K.=0+720



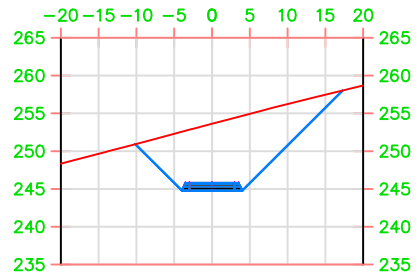
P.K.=0+740



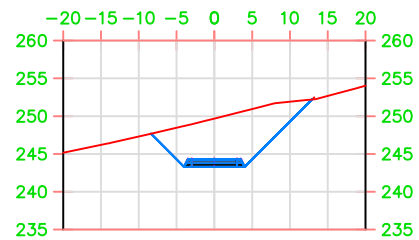
P.K.=0+300



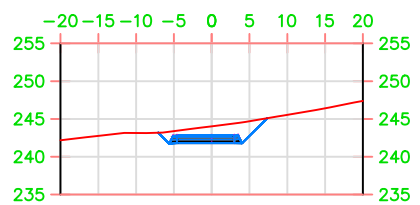
P.K.=0+360



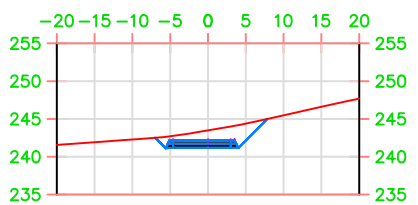
P.K.=0+400



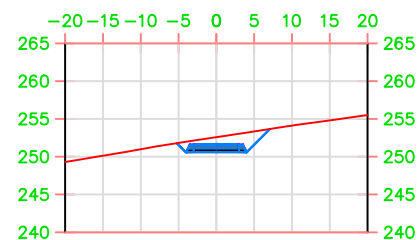
P.K.=0+450



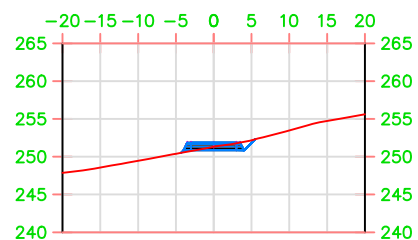
P.K.=0+500



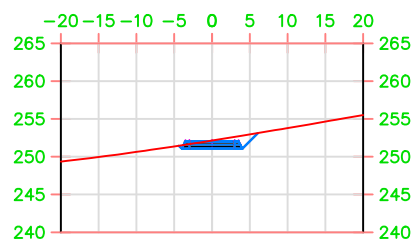
P.K.=0+520



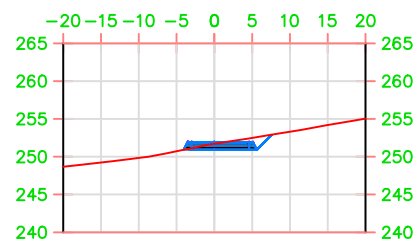
P.K.=0+050



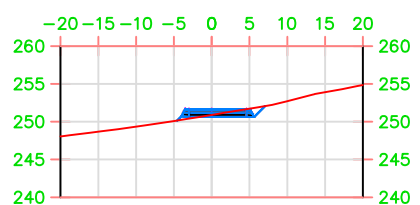
P.K.=0+100



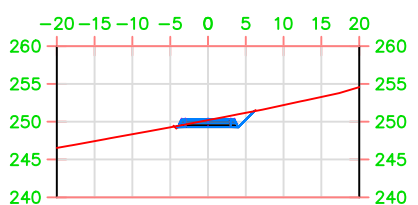
P.K.=0+150



P.K.=0+180



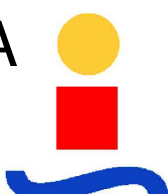
P.K.=0+200



P.K.=0+250



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
E.T.S. de INGENIERÍA
MUICCP



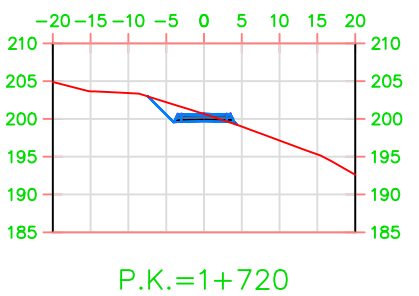
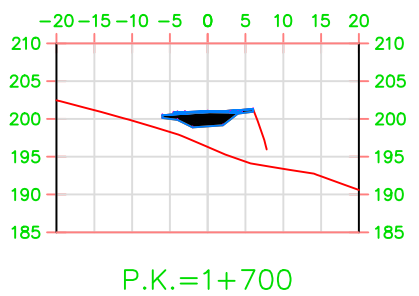
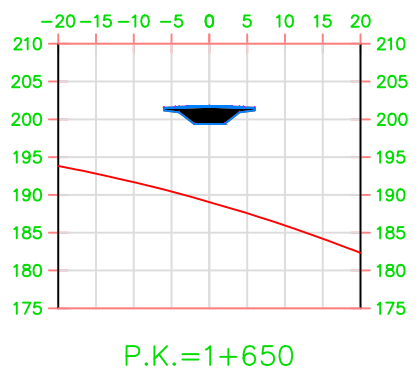
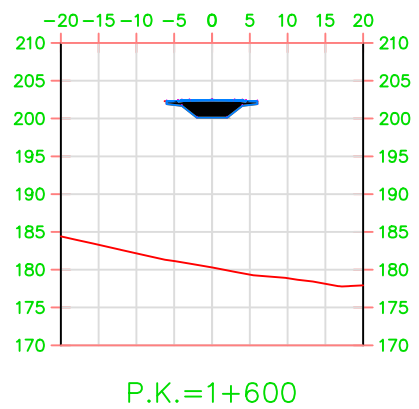
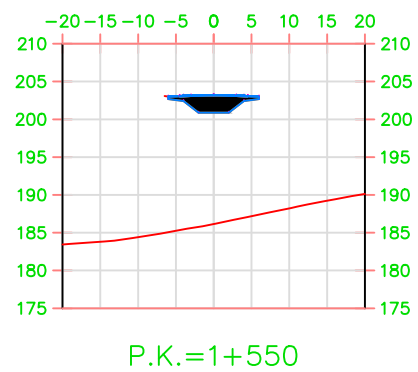
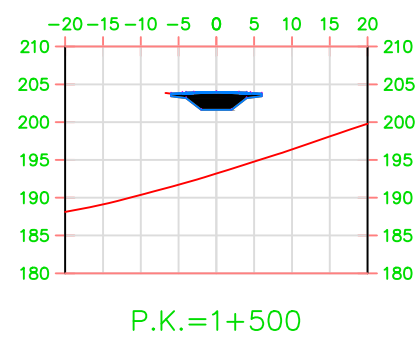
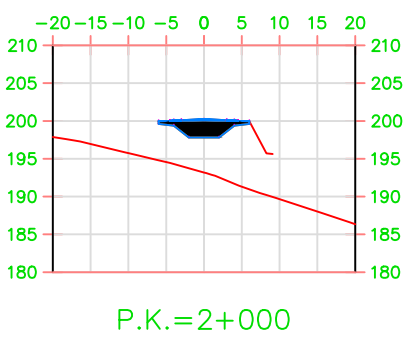
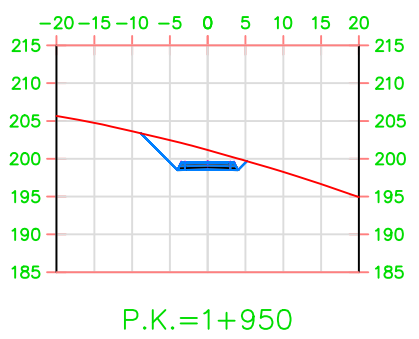
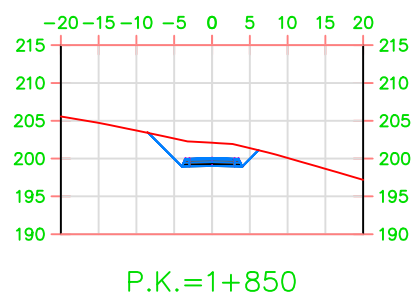
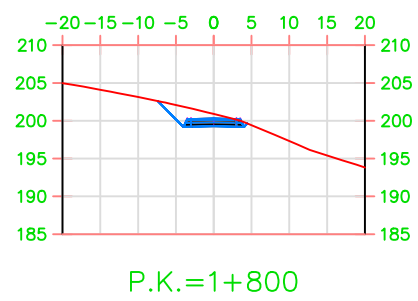
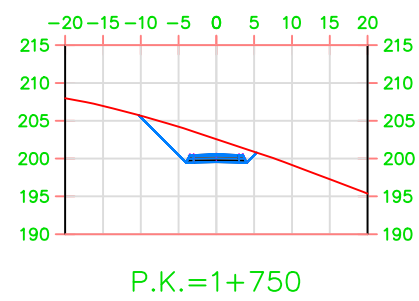
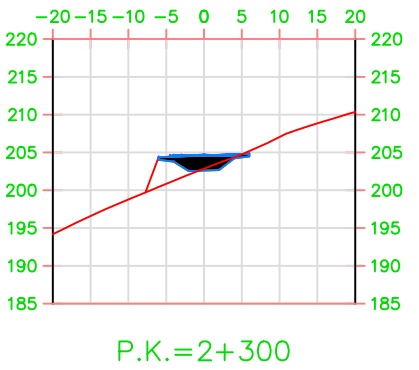
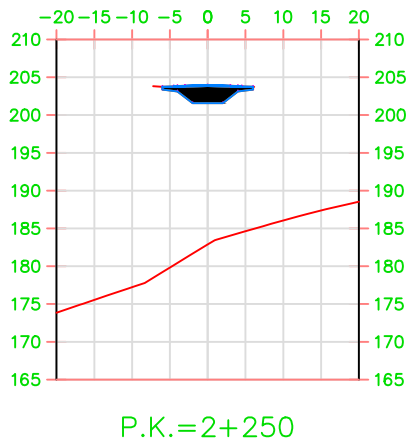
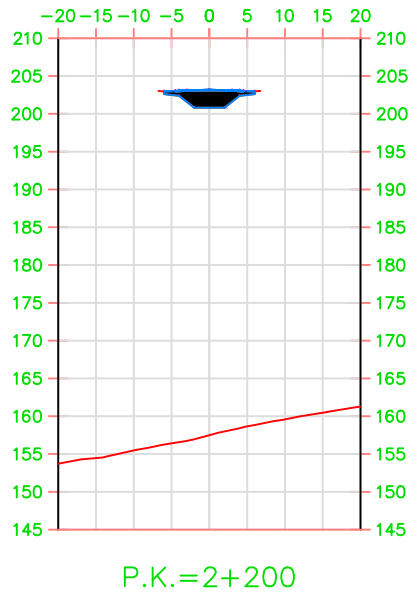
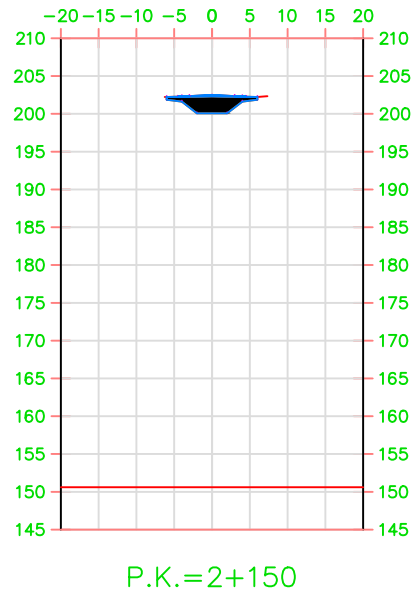
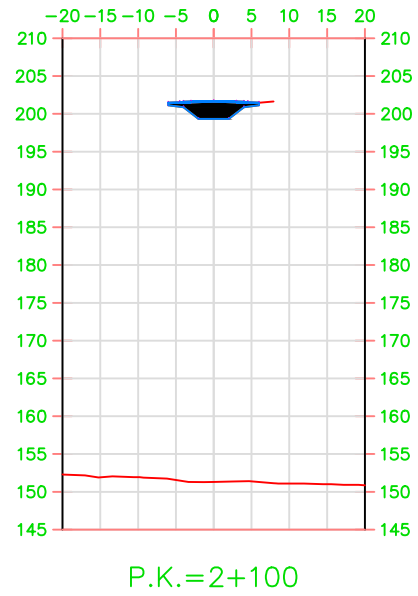
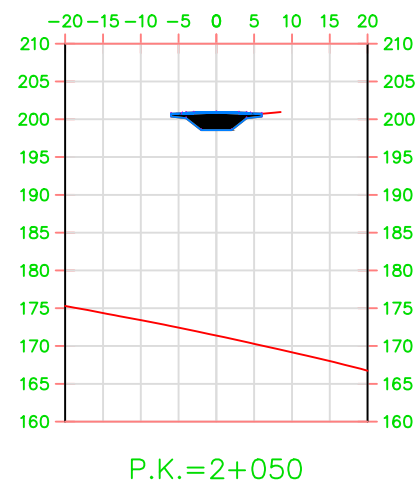
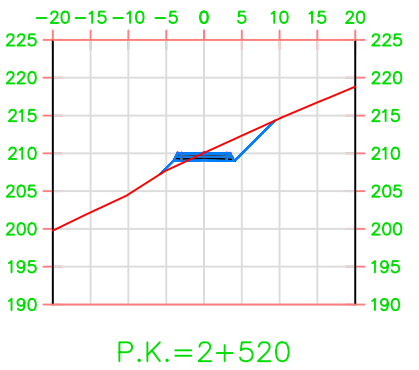
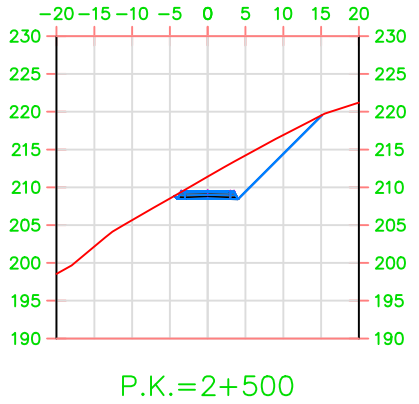
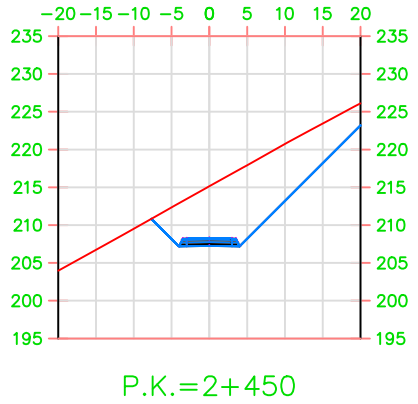
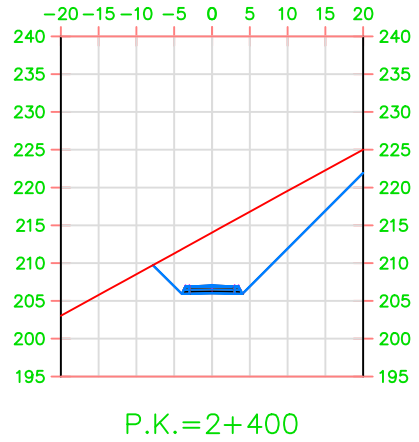
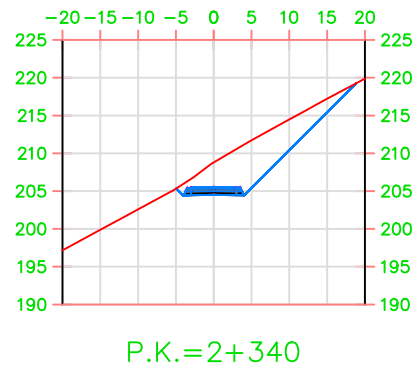
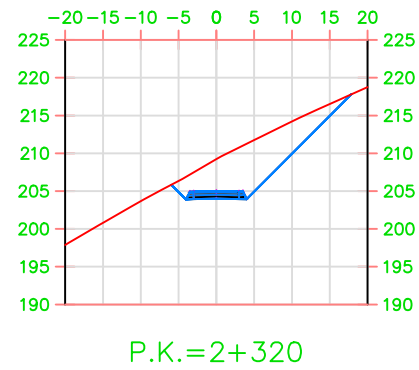
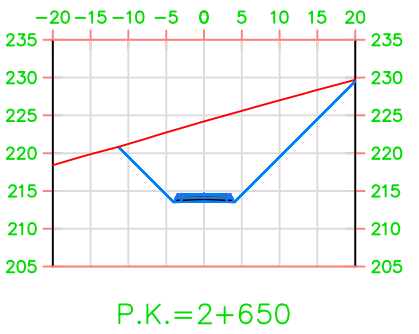
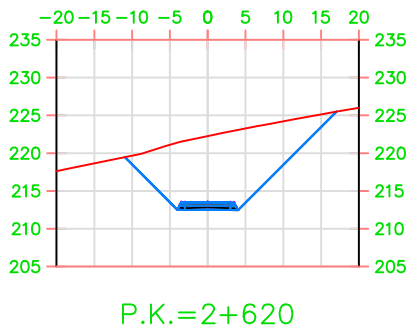
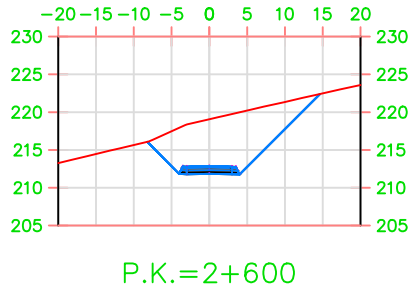
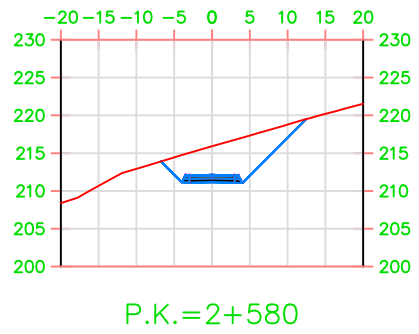
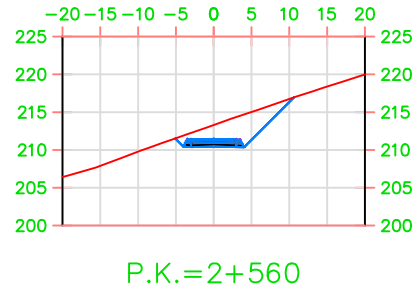
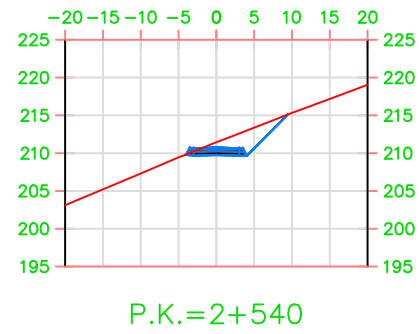
TRABAJO FIN DE MÁSTER
Autor:
Fernando Rodríguez Fernández-Palacios

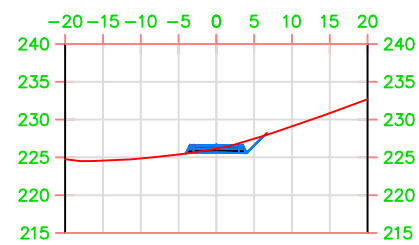
Título:
DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA CON VIADUCTO
Emplazamiento: Embalse de La Minilla, provincia de Sevilla

Escala:
1/1000
Octubre 2019

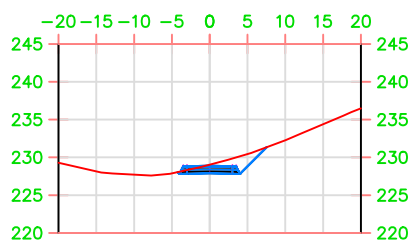
Plano:
PERFIL TRANSVERSAL
Formato original A2 UNE

nº
PT-1
Hoja 1 de 3

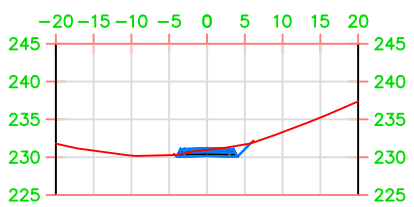




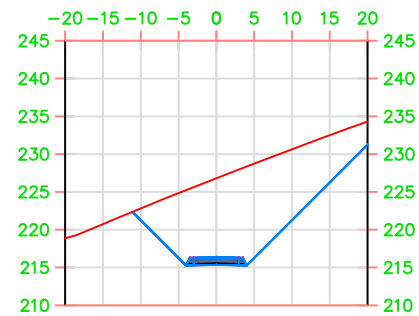
P.K.=2+950



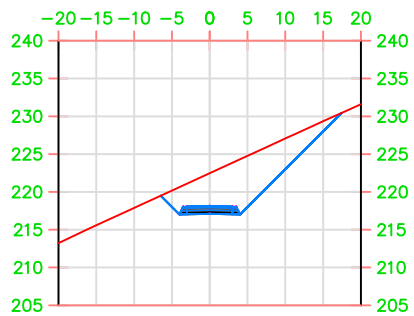
P.K.=3+000



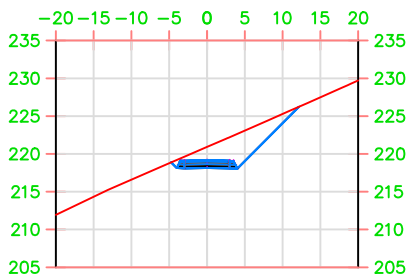
P.K.=3+050



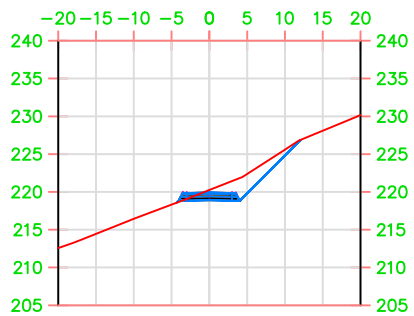
P.K.=2+700



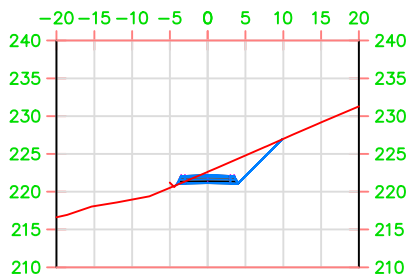
P.K.=2+750



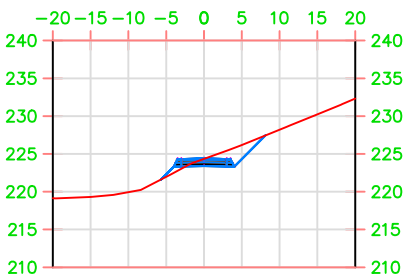
P.K.=2+780



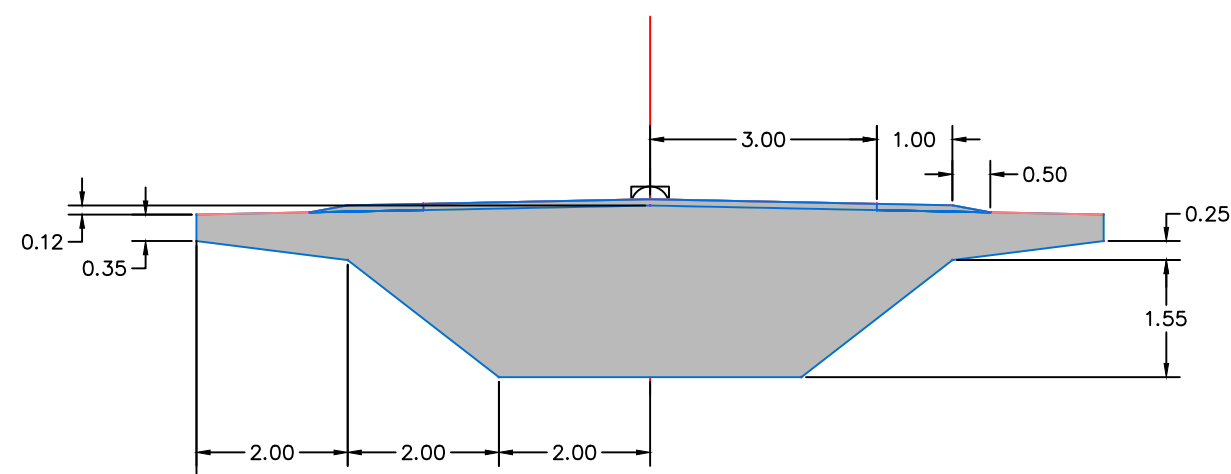
P.K.=2+800



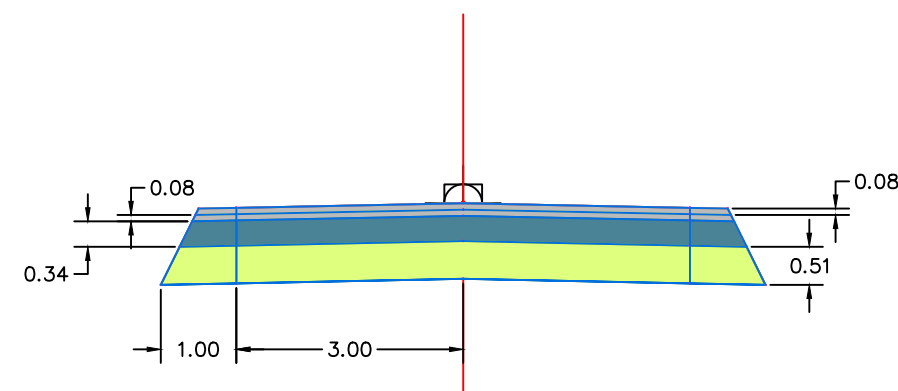
P.K.=2+850



P.K.=2+900



SECCIÓN TRANSVERSAL VIADUCTO



SECCIÓN TRANSVERSAL CARRETERA

